



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

# Descripción del flujograma de una planta de galvanización en caliente, de estructurales.

Autor:

Noriega del Olmo, Ismael

Tutor:

López Aparicio, Manuel Federico

Dpto. Ciencia de los Materiales e  
Ingeniería Metalúrgica, Expresión  
Gráfica en la Ingeniería, Ingeniería  
Cartográfica, Geodesia y  
Fotogrametría, Ingeniería Mecánica  
e Ingeniería de los Procesos de  
Fabricación.

Valladolid, Abril 2016.



## **Agradecimientos**

Agradecer a mi tutor Manuel Federico López Aparicio, por ayudarme con la elaboración del TFG.

A la planta de galvanización en caliente Industrial Goñabe, por permitirme ver las instalaciones y el proceso de galvanización.

A mis padres Lolo y Geles por darme siempre todo lo que he querido. A mi hermano Jose por ser un referente para mí.

A todos mis amigos en especial a Pablo, Josito y Miguel por tantas horas de biblioteca juntos.

Y sobre todo a mi novia Arantza, por apoyarme y aguantarme durante estos años.



## Resumen

En general, los costes producidos por corrosión oscilan entorno al 4% del PIB en países industrializados. La galvanización en caliente constituye uno de los mejores procesos al que someter a un elemento de acero para prevenir la corrosión.

Este Trabajo Fin de Grado detalla el flujograma del proceso de una planta de galvanización en caliente. Durante el proceso se somete a los elementos de acero a una limpieza previa en la que se sumergen en un baño con una solución alcalina para eliminar restos de aceites y grasas, a continuación, en un baño ácido que eliminara los óxidos y para finalizar el tratamiento previo, en un baño con sales para activar la superficie del acero. Una vez la superficie está químicamente limpia, se sumerge en un baño de zinc fundido a 450 °C.

El recubrimiento obtenido presenta unas características extraordinarias frente a la corrosión, proporcionándole una triple protección, alargando la vida útil del elemento de acero y sin que sea necesario mantenimiento alguno.

Palabras claves: Corrosión, Acero, Zinc, Galvanización en caliente, Protección.

## Abstract

In general, the cost caused by corrosion oscillate around 4% of GDP in industrialized countries. Hot dip galvanizing is one of the best processes that steel could be subjected to prevent corrosion.

This Final Project describes the flowchart process of a hot dip galvanizing plant. During the process steel elements are subjected to a precleaning in which are immersed in a bath with an alkaline solution to remove oil ,following by a bath of acid in which oxide is removed and in order to complete the precleaning, a salt-bath activates the steel surface. Once the surface is chemically cleaned ,it is immersed in a bath of molten zinc at 450°C

The coating obtained has extraordinary features against corrosion, provides triple protection, extending useful time of steel elements and without any maintenance needed

Keywords: Corrosion, Steel, Zinc, Hot Dip Galvanizing, Protection



# ÍNDICE.

<b>1.- Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2.- Utilización de estructurales de acero en construcción. ....</b>	<b>3</b>
2.1.- Perfiles laminados en caliente de acero al carbono.....	3
2.2.- Ventajas del acero como material estructural. ....	3
2.3.- Inconvenientes del acero como material estructural. ....	4
2.4.- Perfil IPN .....	5
<b>3.- Corrosión electroquímica.....</b>	<b>7</b>
3.1.- Fundamento teórico .....	7
3.2.- Protección frente a la corrosión. ....	8
3.2.1.- Recubrimientos con pintura.....	10
3.2.2.- Recubrimientos metálicos con zinc. ....	11
3.3.- Mecanismo de protección catódica del acero mediante el zinc. ....	16
3.3.1.- Sistema dúplex. ....	17
3.4.- Corrosión blanca. ....	18
<b>4.-Galvanización en caliente.....</b>	<b>19</b>
4.1.- Propiedades del zinc.....	19
4.2.- Recubrimiento de zinc. Metalurgia de la galvanización en caliente.....	20
4.3.- Características del recubrimiento.....	23
4.3.1.- Larga duración.....	23
4.3.2.- Triple protección. ....	25
4.4.- Economía de los recubrimientos galvanizados. ....	25
4.5.- Soldadura de estructurales galvanizados.....	28
<b>5.-Etapas del proceso de galvanización en caliente. ....</b>	<b>31</b>
5.1.- Limpieza previa. ....	31
5.2.- Desengrase .....	32
5.2.1.- Desengrasase alcalino. ....	32
5.3.- Lavado después del desengrase.....	33
5.4.- Decapado.....	33
5.5- Lavado después del decapado. ....	34
5.6.- Mordentado.....	34

5.7.- Secado.....	35
5.8.- Inmersión en zinc fundido.....	36
5.9.- Enfriamiento.....	36
<b>6.- Equipamiento industrial.....</b>	<b>37</b>
6.1.- Horno de zinc fundido. Crisol de acero dulce y quemadores.....	37
6.2.- Cubas.....	39
6.2.1.- Desengrase y mordentado.....	39
6.2.2.- Decapado y lavado. ....	39
6.3.- Polipastos.....	40
6.4.- Equipamiento auxiliar. ....	41
<b>7.-el proceso de galvanización en caliente.....</b>	<b>43</b>
7.1.- Recepción del material en negro.....	43
7.2.- Tratamiento previo. ....	43
7.2.1.- Limpieza previa.....	43
7.2.2.- Colgado del material. ....	44
7.2.3.- Desengrase. ....	44
7.2.4.- Lavado después del desengrase. ....	45
7.2.3.- Decapado con ácido clorhídrico. ....	45
7.2.4.- Lavado después del decapado. ....	47
7.2.5.- Mordentado. ....	47
7.2.6.- Secado. ....	48
7.3.- Inmersión en zinc. ....	49
7.4.- Enfriamiento.....	50
7.5.- Almacenamiento.....	50
<b>7.6.- Flujograma.....</b>	<b>51</b>
<b>8.-Técnica de control de calidad. ....</b>	<b>56</b>
8.1.- Aspecto superficial. ....	56
8.2.- Espesor del recubrimiento. ....	56
8.3.- Reacondicionamiento. ....	55
8.4.- Adherencia del recubrimiento. ....	55
<b>9.- Prevención de riesgos laborales en la galvanización en caliente.....</b>	<b>57</b>
9.1.- Principales riesgos.....	57
9.2.- Equipos de protección individual.....	58



<b>10.- Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>
<b>1.-Esquemas de circulación .....</b>	<b>65</b>
<b>2.-Peligrosidad y toxicología de sustancias químicas.....</b>	<b>71</b>



## 1.- INTRODUCCIÓN

La galvanización en caliente es un proceso que se utiliza desde hace más de 150 años para proteger al acero frente a la corrosión. Ha superado la aparición constante de nuevas tecnologías y nuevos materiales. La razón es bien simple, la galvanización sigue siendo y será el proceso más rentable y sostenible para proteger al acero frente a la corrosión.

Los elementos galvanizados por inmersión en caliente ofrecen la gran ventaja de no precisar de mantenimiento durante más de 40 años o más, dependiendo en la atmosfera que se encuentre.

El proceso es relativamente sencillo: el recubrimiento de zinc sobre piezas y componentes diversos se obtiene sumergiendo estos elementos ya se de forma aislada o por lotes en un baño de zinc fundido a 450°C.

Previamente a la inmersión de zinc los elementos se someten a una limpieza química con distintas sustancias: En una primera etapa se introducen en un baño de desengrase que puede ser en un medio ácido o alcalino para eliminar restos de grasas y aceites, a continuación, se somete a un lavado para evitar el arrastre de desengrasante a la etapa de decapado, en la que un baño de ácido elimina restos de óxidos que puedan quedar en la superficie. Ya por último los elementos se sumergen en un baño de sales para eliminar últimas impurezas y activar la superficie que se va a galvanizar.

El recubrimiento que se obtiene presenta una unión metalurgia del zinc con la superficie (por lo general acero), en la que se forman sucesivas capas de aleación, hasta cubrirse por una última capa de zinc puro. La adherencia del recubrimiento es excelente por ello, y presenta una elevada resistencia a los impactos y a la abrasión.



## 2.- UTILIZACIÓN DE ESTRUCTURALES DE ACERO EN CONSTRUCCIÓN.

El acero que se utiliza en construcción es resistente, duradero y de fácil mantenimiento. Se ha convertido en un material principal en la construcción. Sus ventajas son muchas, pero destacan su versatilidad de diseño, la reducción del tiempo de construcción y su resistencia sísmica entre otras muchas. El acero lo podemos encontrar tanto en la ferralla, varillas utilizadas para reforzar el comportamiento del hormigón a tracción como en estructuras completas de perfiles de acero.

### 2.1.- Perfiles laminados en caliente de acero al carbono.

Los perfiles laminados en calientes son una de las principales formas de trabajar el acero. En el proceso, un lingote de acero colado se calienta al rojo vivo y se lamina. Este proceso consiste en reducir la sección transversal del material, haciéndolo pasar entre dos rodillos cilíndricos que giran en sentido opuesto. Dichos cilindros son los responsables de producir la deformación plástica del material mediante la aplicación de esfuerzos de compresión y cortadura.

### 2.2.- Ventajas del acero como material estructural.

- ❖ Alta resistencia.

La resistencia que presenta el acero por unidad de peso implica que la estructura tendrá poco peso.

- ❖ Uniformidad.

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo.

- ❖ Elasticidad.

El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente.

❖ Durabilidad.

Si se realiza un mantenimiento adecuado, las estructuras de acero duran indefinidamente.

❖ Ductilidad.

El acero soporta grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Al sobrecargar una estructura metálica sus grandes deflexiones ofrecen una evidencia visible de la inminencia de la fractura.

❖ Tenacidad.

Los aceros estructurales son tenaces, poseen resistencia y ductilidad. Una estructura de acero ya deformada es capaz de seguir resistiendo grandes fuerzas.

❖ Propiedades diversas.

Otras ventajas del acero estructural son:

- Gran facilidad de unir miembros mediante soldadura, tornillos remaches etc.
- Posibilidad de prefabricar los miembros
- Rapidez de montajes
- Gran capacidad de laminarse en distintos tamaños y formas.
- Conserva su valor residual una vez desmontada.

## 2.3.- Inconvenientes del acero como material estructural.

❖ Costo de mantenimiento.

La mayoría de las estructuras metálicas son susceptibles a la corrosión al estar expuesto al aire y agua, por lo que deben pintarse periódicamente.

❖ Costo de la protección contra el fuego.

La resistencia de un acero disminuye considerablemente durante los incendios. Es un material que conduce excelentemente el calor, por lo que un miembro de acero sin protección puede transmitir suficiente calor de una sección incendiada a otra sección adyacente, en

consecuencia, la estructura de acero debe protegerse con materiales con ciertas características aislantes.

❖ Susceptibilidad al pandeo.

Cuanto más largos y esbeltos sean los miembros de acero, y estos estén sometidos a esfuerzos de compresión, mayor es el peligro de pandeo.

❖ Fatiga.

El acero reduce su resistencia si se somete a un gran número de inversiones de signo del esfuerzo, o bien a un gran número de cambios de la magnitud de los esfuerzos.

❖ Fractura frágil.

En ciertas condiciones el acero puede perder su ductilidad y presentarse una fractura frágil en zonas de concentración de esfuerzos. Las cargas que generan fatiga junto con unas temperaturas bajas, empeoran la situación.

## 2.4.- Perfil IPN

El perfil seleccionado para someter al proceso de galvanización en caliente es un IPN. Se trata de un perfil laminado en caliente cuya sección tiene forma de I (Doble T). Las caras exteriores de las alas son normales al alma. Las caras interiores están inclinadas un 14%. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada. Resisten perfectamente a flexión. No mucho a compresión. (Urbán Brotóns, 2009)

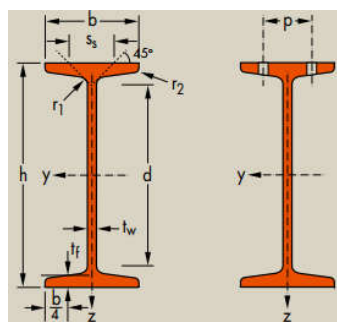


Figura 2.1 Perfil genérico IPN

Denominación	h(mm)	b(mm)	d(mm)	A (mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup> )	G (kg/m)	L (m)
IPN 300	300	125	241	69,10	54,2	7

Tabla 2.1 Especificaciones perfil IPN 300.





## 3.- CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA.

### 3.1.- Fundamento teórico

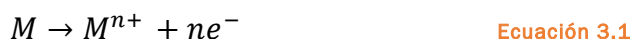
La corrosión electroquímica consiste en la degradación que sufre un material que es atacado por su entorno siendo el ataque un ataque químico. La mayoría de la corrosión en materiales metálicos ocurre por un ataque electroquímico debido a que los metales tienen electrones libres capaces de establecer pilas electroquímicas dentro de los mismos.

Para que ocurra el proceso es necesario que estén presentes tres elementos: ánodo, cátodo y un electrolito. El ánodo es el metal corroído, el electrolito es el medio corrosivo, siendo una solución capaz de conducir electricidad y el cátodo puede ser o no parte de la superficie del metal o ser otro metal en contacto con él.

El proceso de corrosión electroquímica lleva asociada la formación de zonas anódicas y catódicas en contacto con el electrolítico. En las zonas anódicas ocurre la disolución del metal y en las catódicas otra reacción que consume los electrones cedidos por el metal, formando una celda electroquímica.

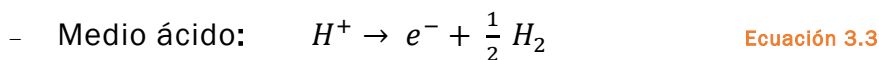
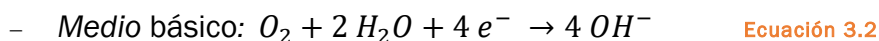
La corrosión electroquímica está compuesta por dos reacciones una de oxidación en el ánodo ecuación [3.1] y una de reducción en el cátodo que dependiendo del medio será la ecuación [3.2], [3.3], ó [3.4]

❖ Reacción anódica:



❖ Reacción catódica:

En la reacción de reducción se ve reducida la carga de valencia del material al existir un consumo de electrones. Dependiendo del medio en el que nos encontremos la reacción será:



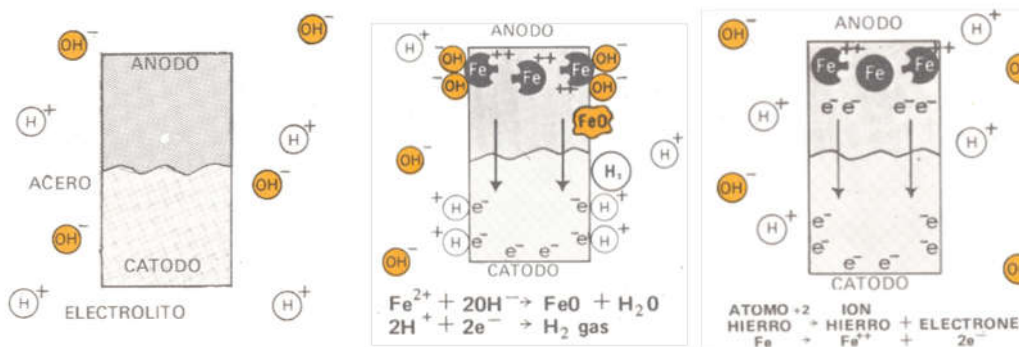
Las diferencias del potencial eléctrico que se producen en la superficie del hierro o el acero son consecuencia de falta de uniformidad de la composición, de la humedad superficial o del electrolito en el cual está sumergido.

Como consecuencia de esta falta de uniformidad se forman células electrolíticas con pequeñas formas anódicas y catódicas. Figura 3.1

Debido a la diferencia de potencial dentro de la célula los electrones fluyen del ánodo al cátodo y se forman iones de hierro cargados positivamente a partir de los átomos de hierro de la zona anódica Figura 3.2.

Los iones de hierro con carga positiva que se encuentran en la zona anódica atraen a los iones de hidroxilo del agua, reaccionando con ellos y dando lugar a óxidos de hierro.

En la superficie catódica los iones de hidrogeno reaccionan con los electrones dando lugar a hidrogeno gas. Figura 3.3.



## 3.2.- Protección frente a la corrosión.

Protección frente a la corrosión, es un término que se usa para referirse a un número de procedimientos que tienen como fin, minimizar la rapidez de la corrosión. Estos procedimientos no evitan la corrosión, aunque si pueden reducirla, hasta hacerla muy lenta.

Desde el punto de vista de la corrosión los principales métodos para su prevención son:

### ❖ Modificación del diseño.

Un diseño adecuado resulta importante para prevenir la corrosión y para seleccionar un material adecuado. Evitar concentraciones de tensiones, metales galvánicamente similares y uniones soldadas en vez de

remachadas son algunos aspectos del diseño que se han de tener en cuenta ante la corrosión.

❖ **Modificación del medio corrosivo.**

La modificación del medio es importante para disminuir las tasas de corrosividad. Las principales modificaciones en los medios consisten en: bajar temperaturas, disminuir velocidad de los fluidos, eliminar oxígeno de los fluidos y reducir las concentraciones de iones.

❖ **Selección de materiales.**

La elección del material más adecuado debe seleccionarse en función del binomio medio-aleación. Sin embargo, para cualquier aleación existe medio que produce corrosión. Ante la elección de cualquier aleación, esta debe ir acompañada de algún proceso adicional de protección.

❖ **Protección anódica.**

Ciertos metales tienen tendencia a la pasivación cuando se les somete a un potencial más positivo que el de corrosión. Al pasivarse se forma una capa de producto protectora, que hace disminuir la velocidad de corrosión.

❖ **Protección catódica.**

Se distinguen dos métodos: corriente impresa y ánodo de sacrificio. En la corriente impresa se aplica una corriente continua que alimenta a un ánodo. El elemento a proteger se conecta al polo negativo mientras el ánodo se hace el positivo. En la protección por ánodo de sacrificio un elemento auxiliar más electronegativo se corroe en beneficio del elemento a proteger.

❖ **Protección mediante recubrimientos.**

1. **Recubrimientos con películas orgánicas.**

Las pinturas crean una barrera protectora que impide el contacto directo del material con el electrolito.

2. Recubrimientos con películas metálicas.  
Recubrimientos principalmente obtenidos por inmersión en caliente o electrodeposición. En función del material elegido actúan como protección anódica o catódica.
3. Otros recubrimientos.

Existen muchas clasificaciones de los distintos medios de protección. Cuando se trata de proteger una estructura de acero frente a la corrosión, nos centramos fundamentalmente en dos medios, los recubrimientos por pintura y los recubrimientos metálicos, en concreto el galvanizado.

### 3.2.1.- RECUBRIMIENTOS CON PINTURA.

La pintura, es una suspensión que, al aplicarse sobre una superficie, en forma de capas finas, por evaporación o por reacción se convierte en una capa más o menos impermeable que aísla al objeto recubierto del medio exterior. (Pancorbo, 2011)

Cuando hablamos de pinturas se trata de un concepto muy general, utilizado para nombrar una gran variedad de materiales, tales como esmaltes, barnices, imprimación, etc. El recubrimiento frente a la corrosión metálica por medio de pinturas es el método más utilizado. Entorno al 80-90% de las superficies metálicas se protegen mediante revestimientos de pintura.

El alto uso de este método de revestimiento se debe a un bajo coste y a una aplicación sobre la superficie relativamente sencilla. Para ambientes no agresivos ofrece una cobertura frente a la corrosión muy buena, pero en ambientes agresivos, ambientes con elevada temperatura y en el caso que la protección dure más de 15 años, no es recomendable la utilización de pinturas.

Las pinturas están formadas por tres componentes. Los pigmentos constituyen la parte sólida de la pintura. Se mantienen insolubles y dispersos en la parte líquida de la pintura. Son los encargados de dar color, de disminuir la permeabilidad de la película y contribuir a la protección anticorrosiva. El vehículo, es la parte líquida de la pintura, está formado por el aglutinante y el disolvente. Por último están los aditivos. Son sustancias que se añaden en pequeñas cantidades para aportar ciertas propiedades específicas a la pintura. Se añaden cantidades del orden de 0.001 al 5 %

El revestimiento por pintura nos proporciona una triple protección:

❖ Protección por barrera.

Crea un efecto barrera debido a la impermeabilidad de los reactivos del medio que rodea la superficie pintada.

❖ Protección anódica.

La protección anódica es proporcionada por los pigmentos anticorrosivos.

❖ Protección catódica

Algún componente de la pintura es más electroquímicamente activo que el metal protegido.

### 3.2.2.- RECUBRIMIENTOS METÁLICOS CON ZINC.

El galvanizado, es utilizado para designar genéricamente los diferentes procesos o recubrimientos que utilizan zinc como fundamento ante la corrosión. Existe diferencias entre ellos en función de los sistemas de aplicación, las características tecnológicas, la capacidad de protección y los ámbitos de aplicación. Otra importante diferencia entre ellos es la capacidad de algunos medios de formar aleaciones entre el acero a proteger y el zinc.

Para todos los recubrimientos de zinc por los distintos métodos, la duración de la protección, es directamente proporcional al espesor del recubrimiento. El espesor medio de la ligera capa oscila entre 0,10 a 0,15 mm de zinc

Los recubrimientos con zinc proporcionan una protección triple al acero. En primer lugar, proporciona un efecto barrera formado por la capa de zinc y la capa formada por los carbonatos básicos de zinc.

Si en el recubrimiento existe una discontinuidad se establece una protección catódica del acero base, al comportarse el zinc anódicamente frente al acero.

Y por último se produce una restauración de las discontinuidades del recubrimiento, es decir el óxido de zinc tapa los posibles daños que se hayan producido.

Como clasificación de los distintos procesos de recubrimiento de zinc, distinguiremos entre:

- ❖ Galvanización en caliente.
  - Proceso continuo.
  - Proceso discontinuo.
- ❖ Zincado electrolítico
  - Proceso continuo.
  - Proceso discontinuo.
- ❖ Metalización con zinc.
- ❖ Recubrimientos con polvos de zinc.
  - Sherardizacion.
  - Deposito mecánico.
- ❖ Pinturas ricas en zinc.

#### 3.2.2.1.- Galvanización en caliente.

La galvanización en caliente consiste en sumergir elementos de acero o hierro en un baño de zinc fundido que se encuentra a una temperatura de 450°C. Al sumergir el elemento a esta temperatura se producen aleaciones de hierro zinc debido a la difusión del zinc sobre la superficie del acero.

Podemos distinguir dos procesos de galvanización en caliente por sus diferencias en el proceso y las características tecnológicas del recubrimiento.

- ❖ Galvanización en caliente discontinua

Con la galvanización en caliente discontinua se puede recubrir todo tipo de piezas y construcciones fabricadas de acero y hierro. Antes de sumergir la pieza en el baño de zinc fundido se somete a unos tratamientos químicos para dejar limpia la superficie. Los tratamientos químicos incluyen las fases de desengrase, en un medio normalmente alcalino, el decapado, en ácido clorhídrico, mordentado en un baño de cloruro de amonio y cloruro de zinc y un posterior secado.

- ❖ Galvanización en caliente continua.

El proceso continuo de galvanización en caliente se emplea para chapas de acero de hasta 3 mm de espesor y alambres de cualquier diámetro. Las piezas pasan de forma continua y a unas velocidades elevadas por un

tratamiento previo de limpieza y el posterior galvanizado. El espesor del recubrimiento de zinc es menor al estar sumergido menos tiempo.

#### 3.2.2.2.- *Zincado electrolítico.*

En el zincado electrolítico el recubrimiento se deposita por electrolisis de sales de zinc en una disolución acuosa mediante una corriente continua. El espesor del recubrimiento está comprendido entre 8 y 12 micras, por lo que no suele ser recomendable para aplicaciones que necesiten una protección de cierta duración. El zincado electrolítico es recomendable para piezas pequeñas.

#### 3.2.2.3.- *Metalización con zinc.*

En el proceso de metalización, el zinc en forma de alambre o polvos alimenta una pistola de proyección. En la pistola se funde el zinc por arco eléctrico o por llama de oxígeno y combustible y se proyecta a la superficie a proteger con ayuda de un gas pulverizador.

No existe restricción de morfología y tamaño de piezas pudiéndose obtener recubrimientos gruesos. La uniformidad de estos dependerá de la habilidad del operario. Se recomienda la posterior aplicación de una capa de barniz sellante ya que la superficie resultante es porosa.

#### 3.2.2.4.- *Recubrimientos con polvos de zinc.*

##### ❖ Sherardización.

El sherardizado se utiliza principalmente para piezas pequeñas. Consiste en un proceso de difusión en estado sólido, en el que las piezas se introducen en un tambor giratorio con unas mezclas de polvo de zinc, sílice y/o carborundo. El tambor se hace girar de 2 a 4 horas a una temperatura de 400°C. En este tiempo se forman las mismas aleaciones que en la galvanización en caliente, quedando todas las capas menos la última de zinc puro. Los recubrimientos formados son función de la temperatura y el tiempo del proceso.

❖ Deposito mecánico de zinc.

Proceso muy similar a la Sherardización. También utilizado para piezas pequeñas que se hacen girar en un tambor junto a una mezcla de polvos de zinc, bolas pequeñas de vidrio, productos químicos y agua. Las bolas de vidrio provocan la deposición del zinc al impactar con la superficie, quedando una superficie muy uniforme. El espesor del recubrimiento oscila entre las 6 y 107  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.2.5.- Pinturas ricas en zinc.

La misión de las pinturas ricas en zinc consiste en volver conductor eléctrico e recubrimiento. Se genera una protección catódica siempre que el contenido en zinc de la pintura sea 80-95% en peso de zinc.

En la tabla 3.4 se muestran recogidos los distintos tipos de protección con zinc.

Procedimientos , normativa aplicable	Espesor normal del recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )	Aleación con el acero de base	Proceso de obtención
<b>Galvanización en caliente</b>  1. En discontinuo: UNE EN ISO 1461 (Piezas y artículos diversos) UNE 37-507 (Tornillería) UNE 37-505 (Tubos) UNE EN 10240 (Tubos en plantas automáticas)  2. En continuo: UNE EN 10142 (Chapa galvanizada para conformación en frío) UNE EN 10147 (Chapa galvanizada de hacer de construcción) UNE EN 10244-2 y UNE 112077 (Alambres)	50 - 150 20 - 60 50 -100	Sí Sí Sí	Inmersión en un baño de zinc fundido
	20 - 40 20 - 40 5 - 30	Sí Sí Sí	Paso en continuo a través de zinc fundido



Procedimientos , normativa aplicable	Espesor normal del recubrimiento (μm)	Aleación con el acero de base	Proceso de obtención
<b>Zincado electrolítico.</b> 1. En discontinuo: UNE EN 12329  2. En continuo: PNE-Pr EN 10152	5 - 25  2,5 - 10	No  No	Depósito de zinc mediante electrólisis de disoluciones acuosas de sales de zinc
<b>Metalización con zinc.</b> UNE EN 22063	80 - 150	No	Proyección de zinc fundido con pistola
<b>Recubrimientos con polvo de zinc</b>  1. Sherardización: prEN 13811	15 - 45	Si	Difusión sólida de polvo de zinc en el acero por debajo de la temperatura de fusión zinc
2. Depósito mecánico ("Mechanical Plating"): prEN ISO 12683	6 - 107	No	Deposito en medio acuoso de polvo de zinc en el acero con ayuda de impactos mecánicos.
<b>Pinturas ricas en zinc</b>  ISO 3549 (Zinc en polvo)	Delgada: 10 - 20 Normal: 40 - 80 Gruesa: 60 - 120	No	Aplicación con brocha, rodillo, por pistola o inmersión

Tabla 3.4 Procedimientos de recubrimiento mediante zinc (Norma UNE EN ISO 1461)

### 3.3.- Mecanismo de protección catódica del acero mediante el zinc.

Una forma de medir la mayor o menor tendencia de formar células electroquímicas de los materiales es comprobar su situación en la serie galvánica. En el caso del zinc al estar por encima del hierro Figura 3.5 (Galesa, 2015) se comportará como ánodo en la pila de corrosión.

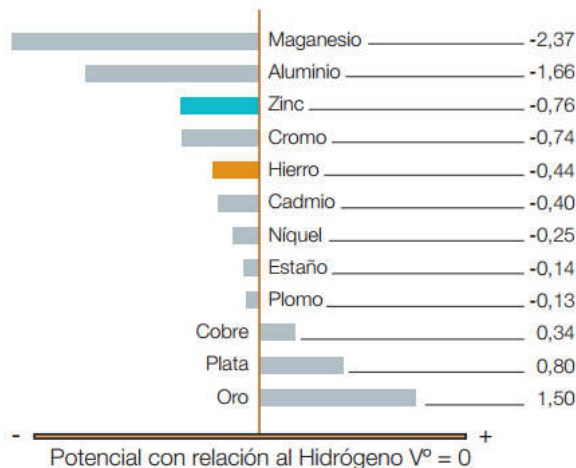


Figura 3.5 Serie galvánica.

Cuando ponemos en contacto el zinc y el acero inmerso en un electrolito se produce una diferencia de potencial eléctrico, dando lugar a una célula electrolítica.

El zinc es electroquímicamente más activo que el acero comportándose como ánodo y evitando que se formen pequeñas zonas anódicas en la superficie del acero, figura 3.6. Los electrones fluyen desde el ánodo de zinc al catodo del acero y en la zona anódica los átomos de zinc se van convirtiendo en iones con carga positiva, figura 3.7.

En la superficie catódica, que se encuentra cargada negativamente hay una reacción entre los electrones y los iones de hidrogeno procedentes del electrolito, figura 3.8.

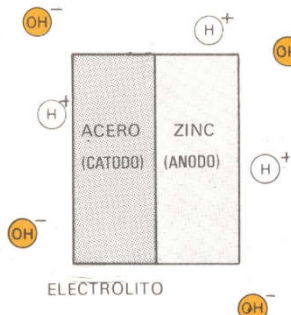


Figura 3.6 Célula electrolítica acero-zinc.

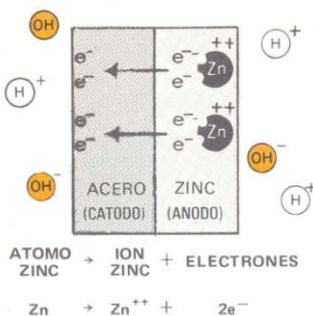


Figura 3.7 Flujo de iones

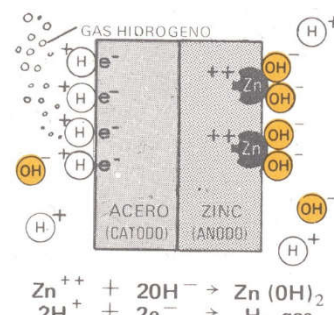


Figura 3.8 Formación gas hidrogeno.

El efecto que evita la corrosión del cátodo consiste en que los iones de zinc de la superficie del ánodo, que tienen carga positiva reaccionan con iones de hidroxilo de carga negativa del electrolito, formando hidróxido de zinc.

### 3.3.1.- SISTEMA DÚPLEX.

El sistema dúplex consiste en la protección del acero mediante un recubrimiento de pintura más galvanizado. El galvanizado y las pinturas son complementos ideales, un recubrimiento con este sistema retrasa el deterioro de la capa de zinc en ambientes muy corrosivos. Cuando la pintura empieza a fallar, el zinc actúa como una barrera.

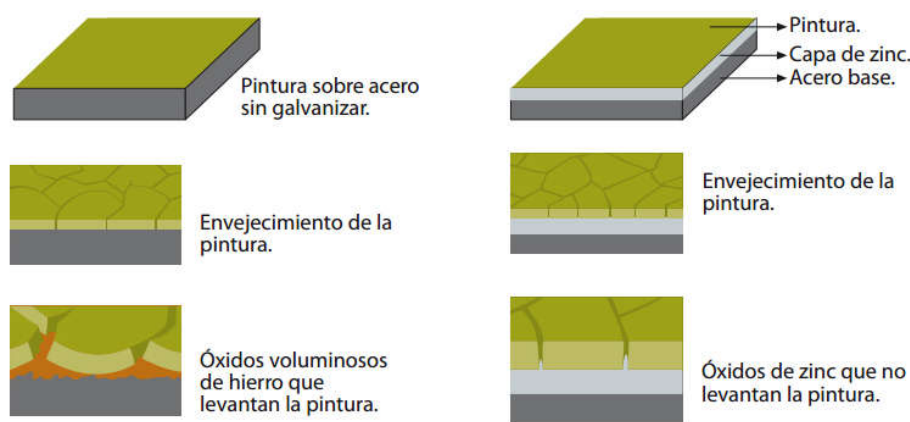


Figura 3.9 Protección con pintura frente a protección con sistema dúplex

Los propósitos de este sistema son dar una protección adicional, extender la vida útil del acero galvanizado, ofrecer estética con el color por parte de la pintura y lograr un efecto sinérgico de los dos sistemas contra la corrosión.

La protección del sistema dúplex puede ser de tres tipos.

- ❖ Aplicación de autoimprimante sobre el material galvanizado.
- ❖ Aplicación de dos capas, una de anticorrosivo y otra de acabado.
- ❖ Aplicación de tres capas, anticorrosivo, protección de barrera y acabado.

Dependiendo de la agresividad de la atmósfera a la que este expuesta la superficie, el efecto sinérgico de los dos sistemas de protección se puede expresar:

$$D_{duplex} = K * [D_{zinc} + D_{pintura}]$$

Ecuación 3.5

En donde:

- ❖  $D_{Dúplex}$  = Duración de la protección del sistema dúplex.
- ❖  $D_{Zinc}$  = Duración de la protección galvánica.
- ❖  $D_{Pintura}$  = Duración de la protección mediante pintura
- ❖  $K$  = Constante comprendida entre 1,5 y 2,3

### 3.4.- Corrosión blanca.

La protección mediante zinc constituye una buena herramienta para proteger las piezas de acero del fenómeno de corrosión, pero es necesario tener en cuenta que la capa de protección resistente a la corrosión, dura y delgada, en ocasiones es atacada. Si el acero recientemente galvanizado se expone a ambiente húmedos y además es almacenado en ubicaciones con deficiencia de aire, desencadena rápidamente una reacción formándose unos poros gelatinosos de hidróxido de zinc, que continúan reaccionando y consumiendo la capa progresivamente.

Este tipo de fenómeno se conoce como “corrosión blanca”, que consiste básicamente en la deposición de una película blanca de hidróxido de zinc, que se presenta en los materiales recientemente galvanizados.

Hay que distinguir entre la formación de la capa autoprotectora de productos de corrosión de zinc (óxidos de zinc, carbonatos básicos) y la película inestable de hidróxido de zinc (hidróxido o óxidos hidratados) que son productos generados por el fenómeno de la “corrosión blanca”.

El óxido de zinc se forma en presencia de una atmosfera seca o húmeda, pero con ventilación. Por el contrario, en condiciones de humedad, unido a una ausencia de anhídrido carbónico se forma sobre el zinc una película de hidróxido ( $\text{Zn(OH)}_2$ ).

Ante la aparición de este tipo de corrosión es necesario tener en cuenta:

- ❖ No necesariamente la capa de protección ha sido perjudicada. Esta película de hidróxido de zinc puede desaparecer por acciones atmosféricas como lluvias fuertes.
- ❖ La corrosión se agrava cuando el material además de unas condiciones de almacenamiento deficientes, se le suma la presencia de una atmosfera contaminada por gases como cloruros o sulfuros.
- ❖ Hay que realizar un tratamiento adecuado ya que la formación de la película es indicativa de que se está atacando la superficie del recubrimiento. Para formación de oxidación superficial utilizar un cepillo de cerdas duras. En el caso de una formación de una película mayor, utilizar una disolución de dicromato de sodio ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

## 4.-GALVANIZACIÓN EN CALIENTE.

Se denomina galvanización en caliente al proceso mediante el cual se obtienen recubrimientos sobre acero u otros materiales férricos por inmersión en un baño de zinc fundido (Asociación Técnica Española de Galvanización).

En el proceso del galvanizado por inmersión el zinc fundido produce una serie de capas de aleaciones hierro-zinc de gran adherencia con la superficie. La capa de recubrimiento de zinc, dura y relativamente quebradiza, aporta una protección galvánica frente a la corrosión. Sin embargo, a pesar de que la superficie se pasiva rápidamente, el espesor del recubrimiento se va reduciendo progresivamente en función de las condiciones ambientales en las que el metal galvanizado se encuentre.

Los artículos con la superficie previamente preparada se sumergen en un baño de zinc fundido. Con este baño se consiguen recubrimientos uniformes de unos 610 gr/m<sup>2</sup> unas 86 micras. La duración del recubrimiento de zinc es directamente proporcional a su espesor por lo que este recubrimiento tan grueso constituye una ventaja importante de la galvanización en caliente

### 4.1.- Propiedades del zinc

El zinc es un elemento químico de símbolo Zn. En la corteza terrestre es uno de los elementos menos comunes con un 0,0005-0,02%, ocupando así el puesto número 25 en el orden de abundancia. Su principal mineral es la blenda, marmatita o esfalerita de zinc.

El zinc puro y recientemente pulido es de color blanco azulado, lustroso y moderadamente duro. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos siendo el más común el isótopo con masa atómica 64. Su uso más importante son las aleaciones y el recubrimiento con protector de otros materiales metálicos.

El comportamiento como conductor de calor y de electricidad es bueno teniendo una cuarta parte de eficiencia de la transmisión de calor de la plata. A temperaturas extremas 0,91°K es un superconductor eléctrico.

#### Propiedades Físicas:

❖ Peso específico ( $\text{g cm}^{-3}$ )	7,14
❖ Punto de Fusión ( $^{\circ}\text{C}$ )	419
❖ Punto de Ebullición ( $^{\circ}\text{C}$ )	907

#### Propiedades Mecánicas:

❖ Estado del Material	Policristalino
❖ Dureza – Mohs	2,5
❖ Módulo de Tracción ( $\text{GPa}$ )	104,5
❖ Módulo Volumétrico ( $\text{GPa}$ )	69,5
❖ Relación de Poisson	0.249

#### Propiedades Térmicas

❖ Calor específico ( $\text{J/K Kg}$ )	390
❖ Calor latente de evaporación ( $\text{J/g}$ )	1748
❖ Calor latente de fusión ( $\text{J/g}$ )	111
❖ Conductividad Térmica ( $\text{W/mK}$ )	116

## 4.2.- Recubrimiento de zinc. Metalurgia de la galvanización en caliente

Una vez que la superficie del acero se encuentra limpia y cubierta con una película de flujo, se sumerge en el zinc fundido. La película de flujo se funde dejando en contacto el zinc con el acero, dando lugar a capas de aleación

El recubrimiento consiste en una formación de capas de aleación de hierro zinc unidas metalúrgicamente al acero base. Por encima de estas aleaciones se forma una capa de zinc prácticamente puro.

El recubrimiento consta de las siguientes capas:

- ❖ Eta ( $\eta$ )
- ❖ Zeta ( $\zeta$ )
- ❖ Delta ( $\delta$ )
- ❖ Gamma ( $\gamma$ )

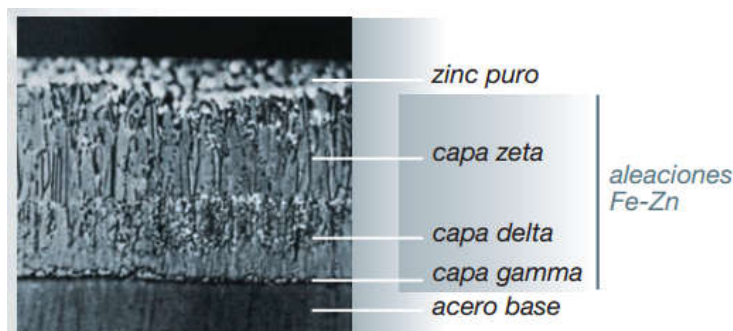


Figura 4.1 Micrografía acero galvanizado (Galesa, 2015)

La capa gamma se puede apreciar correctamente cuando el tiempo de inmersión en el proceso de galvanizado es elevado. En la mayoría de los recubrimientos se observa como una línea de separación entre el acero base y la capa delta. Consta de un amplio rango de solubilidad y sus límites son  $\text{FeZn}_3$ - $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ , siendo una composición promedio  $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ .

La capa delta es  $\text{FeZn}_{10}$  y la capa zeta es  $\text{FeZn}_{13}$  siendo visibles e intermedias. La capa eta es una solución sólida de zinc prácticamente puro. Esta capa puede desaparecer si el material después del galvanizado se somete a un tratamiento térmico que favorece el crecimiento de la capa zeta. En la tabla 4.1 se compara las distintas características físicas de las capas.

	Características de las capa			
	Eta (Zinc)	Zeta (Aleación)	Delta (Aleación)	Gamma (Aleación)
	$\eta$	$\zeta$	$\delta$	$\gamma$
Composición	Zn	$\text{FeZn}_{13}$	$\text{FeZn}_{10}$	$\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$
Porcentaje Hierro	-	5,7-6,3	7,0-11,0	20,0-27,0
Pto.Fusión (°C)	419	530	530-670	670-780
Espesor ( $\mu\text{m}$ )	8-12	10-25	30-40	0.1-0.2
Estructura Cristalina	Hexagonal	Monoclínica	Hexagonal	Cúbica
Propiedades magnéticas	Paramagnética	Paramagnética	Paramagnética	Ferromagnética
Dureza (Hv)	70	179	244	250

Tabla 4.1 Características físicas de las fases del recubrimiento galvanizado (Alfonso José Vázquez Vaamonde, 2001)

Las distintas fases intermetálicas formadas dependerán:

- ❖ Composición química del baño.
- ❖ Composición química del acero.
- ❖ Temperatura del baño.
- ❖ Temperatura del acero.
- ❖ Tiempo de inmersión.
- ❖ Velocidad de enfriamiento.
- ❖ Velocidad de extracción de la pieza.

En los aceros sometidos a un recubrimiento galvánico, en el que se ha formado distintas fases intermetálicas, se ha de tener en cuenta la fragilidad de las



capas y es necesario controlar el espesor del recubrimiento, ya que ambos parámetros están relacionados directamente.

La composición química del acero tiene una influencia muy marcada sobre la reactividad del hierro con el zinc fundido. Aceros con una composición determinada de silicio y fósforo favorecen esa reactividad aumentando el espesor del recubrimiento y por conveniente la fragilidad de la pieza galvanizada. En cuanto al contenido en silicio, cuando el acero galvanizado presenta un contenido en silicio comprendido entre 0,04 y 0,12% y también por encima del 0,25% se produce un crecimiento acelerado de las aleaciones de zinc-hierro. Este recubrimiento dentro de esos porcentajes se denomina Efecto Sandelin.

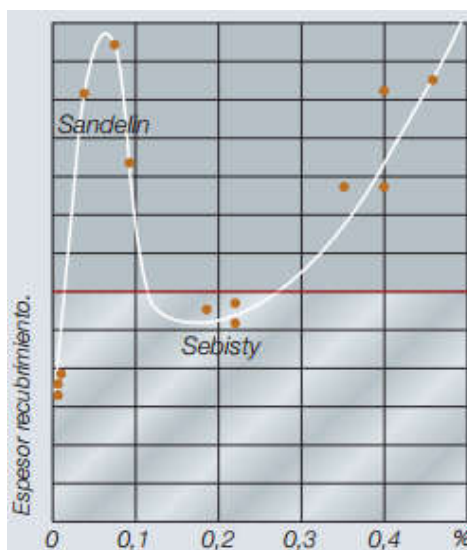


Figura 4.2 Influencia del Silicio en el espesor. Efecto Sandelin

Cuando el contenido en silicio está entre esos márgenes se forma un recubrimiento más grueso que presenta un aspecto oscuro gris mate, pudiendo aparecer de forma homogénea en la pieza o de forma reticular.

En cuanto el contenido en silicio está fuera de la región de Sandelin, el contenido en fósforo desempeña un papel importante sobre la reactividad de zinc. Se ha establecido la fórmula que evalúa la reactividad de los aceros

$$IR = Si + 2,5P \leq 0,09\% \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Con esta fórmula se establece que para evitar el crecimiento excesivo del recubrimiento del zinc se debe seleccionar un acero cuyo contenido en silicio sumado al contenido en fósforo multiplicado por un factor de 2,5 no debe superar un 0,09%. El contenido en fósforo solo es relevante para aceros con bajo contenido de silicio. En los aceros con un contenido mayor a un 0,12 el contenido en fósforo no tiene influencia alguna en el comportamiento del acero durante la galvanización.



Región	Composición	Características de la reacción.
1	$\text{Si} + \text{P} < 0,03\%$	Reacción hierro-zinc normal. Recubrimiento plateado brillante de espesor normal.
2	$0,03\% < \text{Si} + \text{P} < 0,13\%$	Dominio Sandelin: elevada reactividad hierro-zinc. Recubrimiento grueso de color gris oscuro.
3	$0,13\% < \text{Si} + \text{P} < 0,28\%$	Dominio Sebisty: reacción hierro-zinc normal. Recubrimiento de espesor medio y aspecto plateado mate.
4	$\text{Si} + \text{P} > 0,28\%$	Elevada reactividad hierro-zinc. Recubrimiento grueso de color gris oscuro

Tabla 4.2 Contenido de Silicio y fósforo.

## 4.3.- Características del recubrimiento.

### 4.3.1.- LARGA DURACIÓN.

La duración de la protección mediante el recubrimiento de zinc sobre el acero es *proporcional a la masa de zinc por unidad de superficie depositada, siendo independiente el método de obtención del recubrimiento*. Esta duración se estima realizando una aproximación tomando los valores medios de pérdidas anuales de masa que experimentan estos recubrimientos según ( UNE-EN ISO 14713-1, 2011).

Categoría de corrosividad	Ambiente	Riesgo de corrosión	Velocidad de corrosión del zinc ( $\mu\text{m/año}$ )
C1	Interior seco	Muy bajo	$\leq 0,1$
C2	Interior: Condensación ocasional Exterior: Rural en el interior del país	Bajo	0,1 a 0,7

Categoría de corrosividad	Ambiente	Riesgo de corrosión	Velocidad de corrosión del zinc ( $\mu\text{m/año}$ )
C3	Interior: Humedad elevada, aire ligeramente contaminado. Exterior: Urbano en el interior del país o costero de baja salinidad.	Medio	0,7 a 2
C4	Interior: Piscinas, plantas químicas, etc. Exterior: Industrial en el interior del país o urbano costero	Elevado	2 a 4
C5	Exterior: Industrial muy húmedo costero de elevada salinidad	Muy elevado	4 a 8

Tabla 4.3 Categorías de corrosividad.

Un recubrimiento galvanizado con un espesor medio de 80 micras podría durar sin necesidad de mantenimiento más de 100 años en atmosferas urbanas, de 20 a 40 años en atmosferas de ambiente industrial no húmedo o urbanos marítimo y entre 10 y 20 años en atmosferas industriales muy húmedas o marítimas con elevada salinidad. En la figura 4.3 se ve la relación entre el peso del recubrimiento depositado y la duración media de años en distintos medios. Otra herramienta para conocer el alcance de la corrosión atmosférica de un punto geográfico son los llamados mapas de corrosión figura 4.4. Nos dan una estimación anual o a largo plazo de la velocidad de corrosión del zinc.

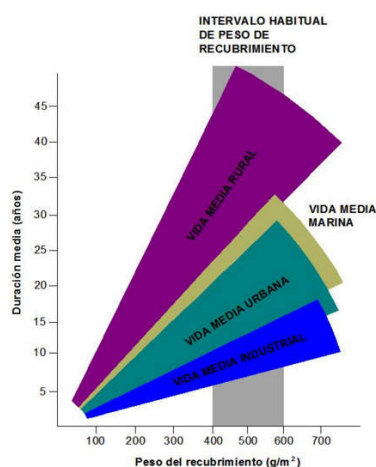


Figura 4.3. Duración media del recubrimiento



Figura 4.4 Mapa de corrosividad del zinc en España

#### 4.3.2.- TRIPLE PROTECCIÓN.

El extenso uso del galvanizado en caliente es debido a la protección proporcionada por el recubrimiento.

##### ❖ Protección barrera.

El zinc, al ser un metal reactivo se oxida en el aire y forma una película de óxido de zinc que resiste la corrosión. La formación de esta capa de óxido de zinc es el primer paso del desarrollo de la capa protectora proporcionada por el recubrimiento.

Al estar la capa de óxido en una atmosfera normal, reacciona con la lluvia y el rocío formando hidróxido de zinc. Cuando se seca el hidróxido de zinc, este reacciona con el dióxido de carbono que hay en la atmosfera y se convierte en una capa básica de carbonato de zinc. La capa de carbonato de zinc protege una excelente protección barrera. Al ser relativamente insoluble, es resistente a la intemperie y, una vez que se ha formado disminuye relativamente la corrosión.

##### ❖ Protección catódica.

Como ya hemos visto en el apartado 3.2 el zinc es un elemento anódico para el acero, el recubrimiento galvanizado proporciona una protección catódica. Al poner en contacto el zinc y el acero en un electrolito, el zinc se consume lentamente a la vez que va protegiendo al acero.

##### ❖ Auto curado.

La acción consumible del zinc, proporciona una protección en las áreas pequeñas de acero que queden expuestas, ya sea por bordes cortados, agujeros perforados o áreas que se hayan formado como resultado de una agresión. La protección catódica continua hasta que se consuma el zinc en su totalidad.

#### 4.4.- Economía de los recubrimientos galvanizados.

A la hora de comparar los costes de la galvanización en caliente y de la pintura, u otros sistemas de protección, la base de comparación debe ser la duración requerida para la estructura o producto. Si se quiere comparar cifras de costes de los distintos sistemas de protección se ha de tener en cuenta los siguientes factores:

- ❖ Debe especificarse un sistema de protección apropiado.

Un buen sistema de pintado debe incluir chorreo con granalla o decapado y tres o cuatro capas de pintura. Esta es la exigencia mínima especificada para condiciones de servicio a la intemperie para la mayoría de normas internacionales.

Ha de tenerse en cuenta que para determinar los costes iniciales en la galvanización en caliente incluye etapas de limpieza previa y que su coste de inspección es muy pequeño, ya que lo normal es que sea suficiente con inspección visual.

En el caso de otros sistemas de protección, la inspección se ha de hacer durante la aplicación del recubrimiento y también al final de trabajo. Esto implica que le coste de inspección será elevado.

- ❖ Debe considerarse el coste estimado de conservación durante la vida en servicio de la instalación.

Un recubrimiento por galvanización en caliente dura más que el mejor sistema completo de pintura aplicado en condiciones idóneas sobre acero preparado adecuadamente.

Aparte del coste directo que supone la reparación del sistema protector, se debe tener en cuenta tanto los gastos generados por interferencia de las operaciones de reparación con el funcionamiento de la instalación, como los gastos producidos por la necesidad de establecer acceso o instalar andamios para realizar las operaciones de reparación.

- ❖ Debe hacerse una valoración económica de los costos reales del sistema de protección durante la duración previsible en servicio. La determinación de los costos reales debe tener en cuenta, que el valor del dinero es función del tiempo. Para ello se utiliza el Método del Valor Neto presente.

En la siguiente tabla 4.4 se recoge el coste relativo por tonelada de acero de diferentes sistemas de protección.

Tratamiento de Protección	Coste inicial relativo por Tm.(u.m)	Conservación.
Galvanización en caliente ( 760 g/m <sup>2</sup> )	100	Pintado a los 15 años
Cepillado con cepillo de alambre/2 manos de minio <sup>1</sup> /2 manos de pintura de óxido de hierro micáceo	90	Repintado a los 4,8,16 y 20 años
Chorro automático/2 manos de minio en aceite /2 manos de pintura de óxido de hierro micáceo	130	Repintado a los 10 y 20 años

Tabla 4.4 Coste relativo distintos sistemas de protección

Los sistemas de pintado convencionales, a base de una mano de imprimación y dos de pintura sobre superficies cepilladas con cepillo de alambre, es menor que la galvanización en caliente. Sin embargo, para una superficie a pintar previamente preparada mediante chorreo, el coste inicial del pintado pasa a ser superior.

Para calcular el coste real de un sistema de protección, utilizamos el método del coste total descontado, el cual tiene en cuenta el distinto valor del dinero con el tiempo.

La expresión general para el coste total descontado será la siguiente;

$$T = I (1 + r)^n + M_1 (1 + r)^{n-P} + M_1 (1 + r)^{n-P_2} + \dots \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En donde:

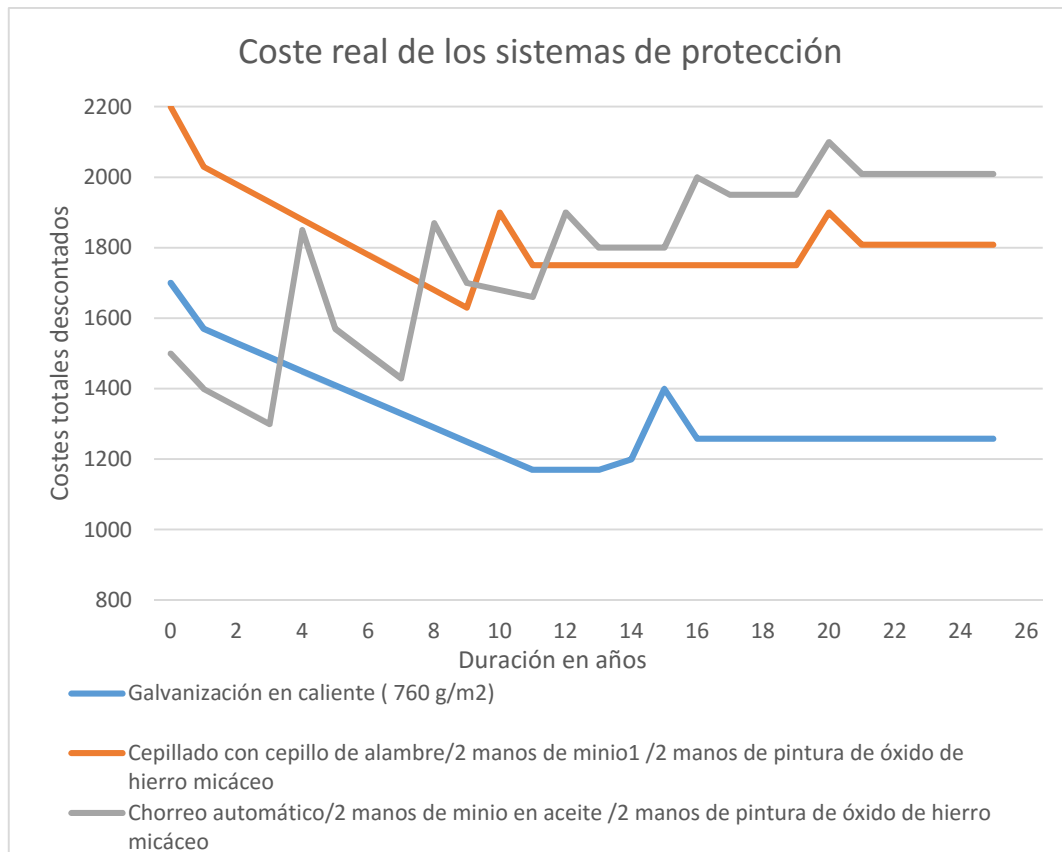
T = coste total descontado del sistema protector.

I = coste inicial.

M<sub>1</sub> = gasto de conservación del año P<sub>1</sub>.

M<sub>2</sub> = gasto de conservación del año P<sub>2</sub>.

r = interés o tipo de descuento.



#### 4.5.- Soldadura de estructurales galvanizados.

La soldadura del acero galvanizado no difiere mucho de la de un acero sin galvanizar. Siempre que se respeten los parámetros de operación, se pueden obtener soldaduras de buena calidad sobre el acero galvanizado con cualquier método de soldeo.

Para construcciones galvanizadas la soldadura eléctrica por arco manual con electrodo revestido (SMAW) es la más frecuente. La temperatura que se alcanza en operaciones de soldeo provoca la vaporización del recubrimiento de zinc. Esta vaporización forma humos de óxido de zinc y puede contaminar el cordón y la zona afectada térmicamente, provocando porosidad.

Para realizar soldaduras eléctricas por arco en acero galvanizado se recomienda:

- ❖ En soldaduras a tope e uniones en ángulo, la separación entre bordes debe ser mayor que en un acero normal para facilitar la salida de vapores de zinc y evitar así la formación de poros en el cordón.
- ❖ La velocidad de soldeo debe ser menor y se debe imprimir un movimiento pendular para favorecer la salida de vapores.
- ❖ Se debe aumentar la intensidad para estabilizar el arco.
- ❖ La elección del electrodo es importante. Es preferible electrodos que producen escoria de solidificación lenta, de esto modo se aumenta el tiempo de escape de los vapores.
- ❖ La soldadura por pasadas anchas y los múltiples cordones deben evitarse, y también la costosa inyección de calor a la unión. El exceso de calor puede dañar el revestimiento de zinc adyacente.
- ❖ Amolar los bordes antes de soldar provee la junta de soldadura de mejor calidad. También reduce el humo del revestimiento galvanizado.
- ❖ En estructurales, donde las uniones soldadas no están sometidas a solicitaciones especiales, se recomienda electrodos recubiertos de rutilo o rutilo-celulosa.

En todos los procesos de soldadura para acero galvanizado se necesitará realizar una restauración del recubrimiento. El recubrimiento se destruye en la zona de soldadura y lo daña en las zonas adyacentes a las mismas. La restauración se hará de acuerdo con la norma UNE EN ISO 1461, punto 7.3. La utilización de métodos como la metalización de zinc, o la utilización de pinturas ricas en zinc, formarán una capa que protegerá la zona soldada.

Antes de aplicar la restauración del recubrimiento se debe limpiar la zona afectada por la soldadura, eliminando restos de escoria y óxidos de zinc. La preparación superficial corresponderá con un grado Sa 2 ½ que corresponde con un arenado y granallado muy minucioso. En donde las capas de laminación, óxido y partículas extrañas se quitan de forma tan perfecta que los restos solo aparecerán como ligeras manchas o rayas.





## 5.-Etapas del proceso de galvanización en caliente.

El proceso de galvanización en caliente por inmersión es bastante simple. Es necesario controlar rigurosamente todas las etapas para obtener un recubrimiento de óptima calidad.

El proceso comienza con la eliminación por completo del óxido, pinturas y grasas que existan sobre la superficie de los objetos a galvanizar, lo cual se consigue mediante tratamientos preliminares adecuados y posterior decapado en ácido sulfúrico o clorhídrico. Después de cada baño de tratamiento se realiza un lavado para evitar el arrastre de productos de procesos posteriores. Antes de sumergir la pieza en el zinc fundido se sumerge en un baño de sales formado por cloruro de zinc y cloruro de amonio y se seca la pieza.

Durante la inmersión en el baño de zinc fundido, la superficie de las piezas reacciona con el zinc y forma distintas aleaciones de zinc-hierro. Las piezas se mantienen sumergidas hasta que la pieza alcanza la temperatura del baño del zinc fundido, unos 450 °C. Por último, se seca la pieza y se aplica un pasivado. El pasivado es opcional y proporciona una protección anticorrosiva adicional. A continuación, se muestra en la figura el diagrama principal de flujo

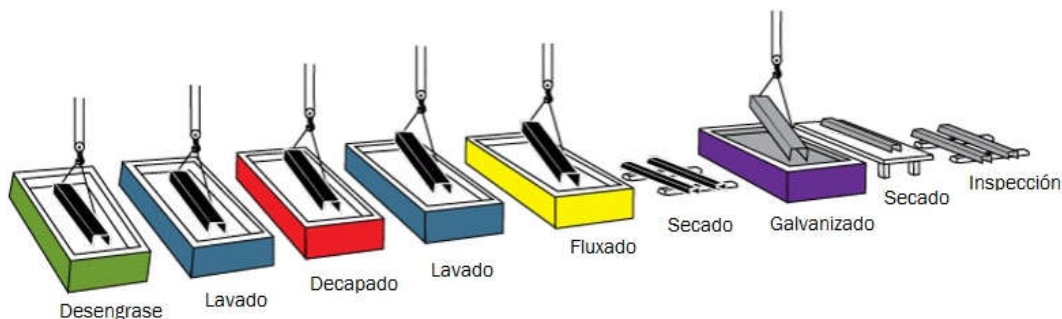


Figura 5.1 Etapas galvanización en caliente

### 5.1.- Limpieza previa.

La primera etapa del proceso consiste en una limpieza mediante la aplicación de agua a presión de agua a presión para eliminar polvo y suciedad que se hayan acumulado durante el transporte.

## 5.2.- Desengrase

Para eliminar los residuos de aceites y grasas procedentes de otros procesos de fabricación es necesario realizar un desengrase. De esta forma se evita el arrastre de aceites a fases de tratamientos posteriores. En el caso que el baño de desengrases no haya sido eficaz, los restos de aceites y grasas se eliminan al introducirse en el baño de zinc en forma de gases.

La composición del baño de desengrase contiene agentes tenso activos que emulsionan con los aceites y grasas adheridos a la superficie de las piezas. La efectividad del baño dependerá de la concentración de los agentes desengrasantes que se encuentra entre el 1 y 4% según el grado de suciedad del material, de la temperatura del baño y de la duración de baño.

Se puede distinguir dos tipos de procesos de desengrase en función del tipo de desengrasante que se usa.

### 5.2.1.- DESENGRASASE ALCALINO.

El desengrase alcalino es el más utilizado frente al ácido. Está formado por una solución alcalina siendo su composición básica de hidróxido sódico, carbonato sódico, silicatos sódicos, fosfato alcalino y bórax. La temperatura del baño está en torno de los 85°C. Con el baño alcalino es necesario una etapa posterior de lavado. A la hora de elegir un tipo de desengrase u otro se tiene en cuenta el espacio disponible ya que la eliminación de la etapa de lavado ahorra espacio. Se muestra en la Tabla 5.1 una comparativa más detallada de los dos tipos de baño.

	Ácido	Alcalino
Condiciones de trabajo <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Temperatura.</li> <li>➤ Concentración.</li> <li>➤ Tiempo de proceso</li> </ul>	Baja, hasta 30°C 8-12% 15-20 minutos	Altas, mínimo 50°C 5-8% 15-20 minutos
Calidad del aire.	Baja humedad y corrosivo	Alta humedad y corrosivo
Lavado posterior.	No	Si
Coste energético.	Mínimo	Alto

Coste		
➤ Formulación.	Alto	Bajo
➤ Mantenimiento.	Bajo	Alto
➤ Consumo de agua	Bajo	Alto
Tiempo de vida útil.	≥ a 5 años	6 a 12 meses

Tabla 5.1 Comparación entre desengrase ácido y alcalino.

### 5.3.- Lavado después del desengrase.

Una vez realizado el desengrase alcalino se lava el material. Se sumerge el material en un baño caliente unos 95° C, evitando así que residuos de desengrasante que puedan haber quedado adheridos pasen a la siguiente etapa del proceso. Para el lavado se dispone de una cuba que será calentada mediante soplado directo.

### 5.4.- Decapado

La siguiente etapa en el proceso de galvanizado es el decapado, proceso mediante el cual se elimina el óxido y la cascarilla de la superficie de la pieza mediante un baño en medio ácido a una temperatura de 20-80°C.

Los principales óxidos que aparecen en la superficie de un material férreo:

- ❖ Óxido ferroso o calamina  $FeO$
- ❖ Óxido ferroso - férrico o magnetita  $Fe_3O_4$
- ❖ Óxido férrico o hematíes  $Fe_2O_3$

En el proceso de galvanizado se utilizan dos ácidos como ácidos de decapado, el ácido clorhídrico (HCl) o el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Ácido	Ventajas	Desventajas
HCl	Reducción de costes al no necesitar calentamiento	Generación de humo al calentarlo.
	Mayor tasa de eliminación	Regeneración del ácido costosa
	Menor difusión del hidrogeno en el acero	Eliminación de magnesio más costosa
	Menor deposición de óxidos de hierro en la superficie decapada	
$H_2SO_4$	Se renueva con mayor frecuencia	Mayor ataque al metal base
	Menor concentración de ácido al trabajar a mayor temperatura.	Mayor difusión del ácido al metal base.

	Facilidad de recuperación del sulfato de hierro	Residuos generados son más adherentes.
	Tasa de decapado puede ser controlada mediante la variación de la temperatura.	Mayor coste energético al tener que calentar la solución.

Tabla 5.2 Comparación entre decapado con HCl y con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

## 5.5- Lavado después del decapado.

Una vez realizado el baño de decapado se realiza un lavado estanco de las piezas para evitar que se arrastren ácidos y sales de hierro a etapas posteriores. Al arrastrar sales de hierro al baño de zinc se produce una formación de lo que comúnmente se denomina “matas de zinc”.

Por cada gramo de hierro que se arrastre y llegue al baño de zinc fundido provoca la formación de 20 gramos de mata de zinc. Es importante que el lavado sea lo suficientemente eficaz. Estos baños de lavado se pueden utilizar para la formación de nuevos baños de decapado.

## 5.6.- Mordentado.

El baño de mordentado está formado por sales que eliminan las últimas impurezas de la superficie metálica, consiguiendo así la mayor limpieza posible antes de sumergir la pieza en el baño de zinc fundido para optimizar la interacción superficial.

La composición del baño de mordentado consiste en una mezcla de cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>) y cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl), con una proporción de 60% de ZnCl<sub>2</sub> y 40% de NH<sub>4</sub>Cl, siendo el contenido de esta mezcla de 500 g/l. En muchos baños de mordentado se sustituirá el NH<sub>4</sub>Cl por cloruro potásico (KCl) debido a que su presencia en el baño de zinc fundido, provoca la formación de humos.

Existen tres métodos de mordentado:

❖ Método seco antiguo.

Las sales que proceden del decapado con ácido clorhídrico se secan y actúan como mordientes. La pieza una vez decapada se deja secar antes de sumergirla en el baño de zinc fundido. Este proceso solo es posible si el decapado es a base de ácido clorhídrico.

❖ Método seco.

Una vez que se ha realizado el decapado se lava la pieza y se sumerge en el baño de mordentado. Tras el mordentado se deja secar y se sumerge en el baño de zinc fundido. Una parte importante del proceso de limpieza que proporciona el mordentado se realiza en la etapa de secado. La eficiencia de este método depende de la cantidad de mordiente que se ha depositado en la superficie, así como del tiempo de secado y de la temperatura.

❖ Método húmedo.

En el método húmedo la pieza se lleva directamente del baño posterior del decapado al baño que contiene el zinc fundido. En este último existe la presencia de una capa flotante de mordiente fundido sobre el zinc. Cuando se extrae la pieza el mordiente elimina el exceso de zinc, permitiendo una mayor velocidad de extracción, mejorando así la velocidad de producción. En necesario el enfriamiento de la pieza para eliminar cualquier traza de sales de mordentado.

El método más utilizado es el mordentado seco, en el que se dispone un baño de mordentado por separado. Con este método se reducen las emisiones producidas al introducir las piezas en el baño de zinc fundido.

La temperatura del baño de mordentado varía en función del método y se encuentra entre los 25 y 70°C. Otro parámetro a controlar es el pH del baño. Este ha de ajustarse en torno a un valor de 4-5, siendo el valor recomendado de 4,5, para que, por una parte, los iones de hierro que se han arrastrado de etapas anteriores, se precipiten como hidróxido de hierro, mientras que por otro lado se mantiene el poder decapante del baño de mordentado.

## 5.7.- Secado.

Con la etapa de secado posterior al baño de mordentado se minimizan las salpicaduras de zinc producidas por la evaporación de restos de agua que quedan adheridas a la superficie de las piezas.

## 5.8.- Inmersión en zinc fundido.

Una vez realizado las etapas previas de limpieza, se sumerge las piezas en un baño de zinc fundido. La adecuada limpieza de la superficie permite que esta reaccione con el zinc fundido, formándose las capas de Zn-Fe de composición variable en la interfase. La parte externa del recubrimiento tendrá la misma composición que el baño si la reacción ha sido controlada adecuadamente.

El zinc fundido se encuentra a una temperatura de 450°C aproximadamente. La reacción a esta temperatura es extremadamente rápida, siendo los instantes iniciales donde se forma la parte principal del recubrimiento, formado por una capa fina de aleación hierro-zinc como ya se vio en el punto 3.2. Una vez formada la capa principal, la reacción se ralentiza, disminuyendo el crecimiento del recubrimiento. El tiempo de inmersión en el baño de zinc fundido oscila desde unos pocos segundos para chapas finas y varios minutos para estructurales de gran tamaño y espesor.

## 5.9.- Enfriamiento.

Al terminar el proceso de galvanizado de la pieza, se enfría mediante una impulsión de aire, o sumergiendo la pieza en un baño de agua. Al sumergir la pieza en agua se enfría rápidamente consiguiendo de algún modo “congelar” el recubrimiento, evitando que las capas de aleación sigan creciendo.

## 6.- EQUIPAMIENTO INDUSTRIAL.

### 6.1.- Horno de zinc fundido. Crisol de acero dulce y quemadores

El horno estará compuesto por un crisol, una estructura con perfiles de acero, un sistema de control electrónico y un sistema de control de temperatura. Con el fin de asegurar la mayor eficiencia energética el horno dispondrá de una capa de aislamiento térmico, una capa de conservación de calor.

Las dimensiones del crisol vienen determinadas por las dimensiones de los perfiles estructurales que se van a someter al proceso de galvanizado.

Dimensiones del crisol:

❖ Longitud (mm)	10500
❖ Anchura (mm)	2300
❖ Altura (mm)	3700

Composición del acero del crisol:

❖ C (%)	0.047
❖ Si (%)	0.03
❖ Mn (%)	0.42
❖ P (%)	0.008
❖ S (%)	0.0058
❖ Al (%)	0.024

El espesor del acero varía entre 50-60 mm dependiendo de la agresividad del zinc fundido, así como el volumen del mismo. La vida útil prevista es función de la temperatura del baño de zinc, que para una temperatura media de 450°C es de 10 años

El calentamiento y mantenimiento de la temperatura se realiza con quemadores de gas que están instalados de forma uniforme en los laterales largos, esto consigue una temperatura uniforme del zinc fundido. Los sistemas de control electrónico y control de temperatura cuentan con una pantalla indicadora con la temperatura de los quemadores y del zinc fundido. El par termoelectrico es un detector de temperatura que se encuentra permanentemente en contacto con el zinc fundido.



Se dispone de un horno de reserva, para el caso de que el horno principal necesite ser reparado o sufra algún tipo de daño. A su vez existen moldes, a los que llega el zinc líquido a través de los canales de emergencia. Los moldes admiten el contenido íntegro de zinc, y una vez solidificado, puede volver a utilizarse sin realizar ningún tratamiento.



Figura 6.1 Horno de zinc fundido.

Se utilizarán 18 quemadores de alta velocidad EQA 100. La alta velocidad del gas garantiza uniformidad de temperatura en el horno. La estabilidad de llama en cualquier condición de funcionamiento determina un sistema de combustión amplio con distintas regulaciones:

- ❖ Estequiométrico
- ❖ Con exceso de aire hasta 900% (con gas al mínimo)
- ❖ Con exceso de gas hasta 100% (con aire al máximo)

Con funcionamiento sin exceso de aire la temperatura supera los 1250°C. Con un exceso de aire de un 200% se proporcionará una temperatura de 550°C.



Figura 6.2 Quemador EQA para crisol de zinc fundido.



## 6.2.- Cubas

Según en flujo del proceso se tiene:

- ❖ 2 Cubas de desengrase.
- ❖ 2 Cuba de lavado.
- ❖ 4 Cubas de decapado.
- ❖ 3 Cuba de lavado.
- ❖ 2 Cubas de mordentado.

Todas las cubas tendrán las mismas dimensiones que el crisol de zinc fundido.

### 6.2.1.- DESENGRASE Y MORDENTADO.

Las cubas de desengrase y de mordentado están fabricadas con acero inoxidable con un espesor de 5 mm, con refuerzos externos y bandeja de recogida.

Accesorios:

- ❖ Intercambiadores de calor de vapor de tipo tubular.
- ❖ Bombas de recirculación de la solución alcalina.
- ❖ Válvula de entrada de vapor.
- ❖ Desagüe solución alcalina.
- ❖ Salida para residuos flotantes.

### 6.2.2.- DECAPADO Y LAVADO.

Las cubas de decapado están fabricadas con láminas de polipropileno (PP) con un espesor de 20 mm.

Accesorios:

- ❖ Desagüe mediante válvula de bolas de PVC.
- ❖ Intercambiador de grafito en los baños de decapado.
- ❖ Válvula de entrada de agua.
- ❖ Válvula de entrada ácido clorhídrico.

## 6.3.- Polipastos.

Se disponen de 6 polipastos de cadena en la planta. Todos ellos idénticos y con las siguientes especificaciones.

❖ Capacidad máx. (Kg)	2.000
❖ Velocidad de elevación (m/min)	2.5
❖ Velocidad de movimiento máx. (m/min)	6
❖ Potencia del motor de elevación (KW)	1.1
❖ Potencia del motor de desplazamiento (KW)	0.60
❖ Ø de la cadena (mm)	24
❖ Longitud de la cadena (m)	8

Los polipastos irán por 6 rieles dispuestos longitudinalmente en la nave según el proceso productivo en línea.

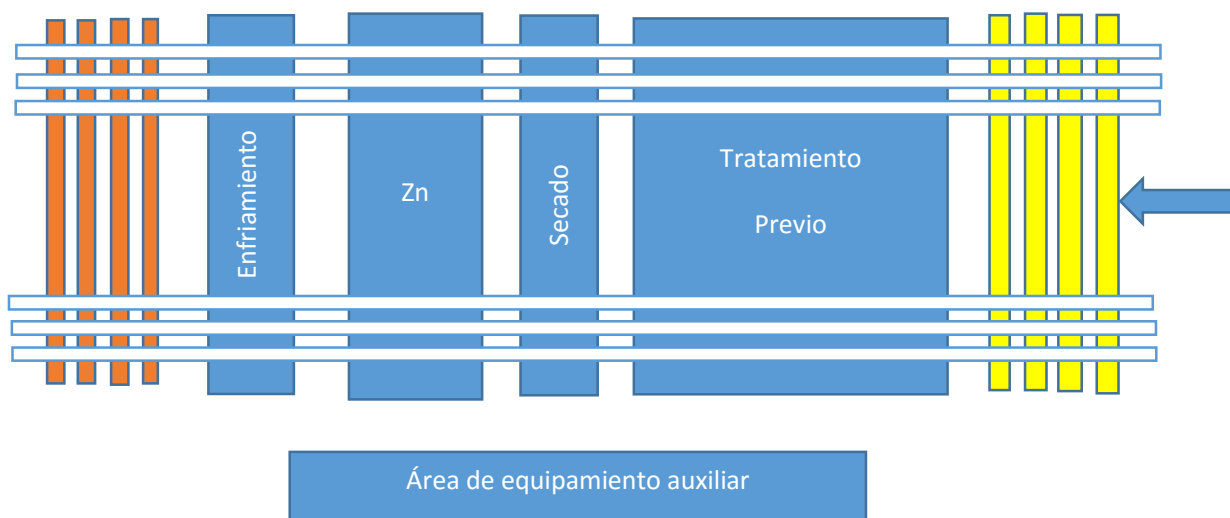


Figura 6.3 Layout en línea.

## 6.4.- Equipamiento auxiliar.

- ❖ Horno de recuperación de cenizas de zinc.

Permite recuperar el zinc de las cenizas de zinc. De una tonelada de zinc se recupera de 400-700 Kg de zinc. Tiene una capacidad de procesamiento de 500Kg con una duración de 4 horas.



Figura 6.4 Horno de recuperación de zinc.

- ❖ Torre de lavado de gases.

Sistema de limpieza de los gases que emiten las cubas de desengrase y mordentado.

- ❖ Equipo de ultrafiltración.

Unidad de separación de aceites y grasas procedentes del baño de desengrase a través de una membrana de cerámica. Con un rendimiento de filtración de 2000 l/h trabaja a una temperatura de 90° y a una presión de 5 bar.

- ❖ Regenerador de ácido clorhídrico.

Sistema de recuperación de ácido clorhídrico con una capacidad de procesamiento de soluciones residuales de 5000 kg/día.

❖ Depósito de ácido clorhídrico (HCl).

Depósitos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRRV) según la norma UNE EN 13121. Sus dimensiones son de 1,5 m de diámetro y 4 m de altura.

❖ Depósito de hidróxido Sódico (NaOH).

El depósito de hidróxido sódico estará fabricado con polietileno de alta densidad, ya que el vidrio es atacado por el NaOH.

❖ Bomba de zinc.

Bomba utilizada para traspasar zinc en el caso de necesidad de reaparición del crisol del galvanizado. El modelo GD-XB-I nos proporciona:

- Potencia del motor: 4 KW.
- Altura de elevación: 4 m.
- Diámetro de tubo: 65mm.
- Caudal de flujo: 30 ton/hora.

❖ Sistema de ventilación.

Se dispone de un sistema de ventilación localizada. La ventilación localizada capta el contaminante en el lugar donde se produce antes de que se disperse en el ambiente de trabajo.

La actuación de control se produce en el origen del contaminante mediante la aplicación de aire comprimido en uno de los laterales de las cubas.

## 7.-EL PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN CALIENTE.

### 7.1.- Recepción del material en negro.

Los perfiles estructurales en negro son transportados con camiones. Una vez recibido se procede a descargarlos mediante carretillas y son trasladados a la báscula de pesaje donde un operario se encarga de pesarlos e inspeccionarlos ante cualquier defecto que imposibilite la posterior galvanización.

Tras realizar la inspección, los perfiles se llevan al almacén de material en negro que tiene unas dimensiones de 36 x18 m donde son agrupados en lotes de cinco.



Figura 7.1 Almacén de material en negro.

### 7.2.- Tratamiento previo.

#### 7.2.1.- LIMPIEZA PREVIA.

Con el fin de eliminar restos de suciedad y polvo que se han ido acumulando durante el transporte del material hasta la planta de galvanización en caliente se realiza una limpieza con agua a presión.

### 7.2.2.- COLGADO DEL MATERIAL.

El colgado de las piezas se realizará de modo que se asegure el manejo adecuado para los operarios. A través de unos puntos de elevación que son incorporados en la etapa de diseño, siendo estos, unos taladros en el ala del perfil IPN. El diámetro de los taladros será de 12 mm, de modo que entren varillas de acero de 4mm. El amarre de la bandeja de carga se realizara con cadenas de eslingas de grado 80 de un ramal, que poseen un diámetro de eslabón de 10 mm y una capacidad de carga de 3150 kg.

Para piezas de gran tamaño, como es el caso de los perfiles que se van a galvanizar los puntos de elevación se dispondrán a  $\frac{1}{4}$  y a  $\frac{3}{4}$  de la longitud total del perfil, estando inclinado con un ángulo de  $10^\circ - 12^\circ$  para favorecer el escurrido. Al ser perfiles de gran longitud, si se colgasen por los extremos, el contraste térmico que se produce a la salida del baño de zinc y el peso propio del mismo perfil produciría una deformación del mismo. La bandeja de carga tendrá una capacidad de carga de 5 perfiles y dispondra de dos enganches para amarrar los polipastos.



Figura 7.2 Bandeja de carga

### 7.2.3.- DESENGRASE.

El material sujeto llega al baño de desengrase. La velocidad de descenso será de 42 mm/seg y la de elevación de 21 mm/seg. Las cubas de desengrase contarán con dos bombas de recirculación, de forma que la concentración de la solución permanece constante.

#### – Formulación típica baño de desengrase

❖ Hidróxido sódico (g/l)	50
❖ Carbonato sódico (g/l)	10
❖ Fosfato sódico (g/l)	20
❖ Gluconato sódico (g/l)	20
❖ Tensioactivo (humectante) (g/l)	0,3

Esta disolución acuosa precisa de agitación por aire, trabaja a una temperatura de  $90^\circ\text{C}$  y el tiempo de tratamiento es de 3 a 10 minutos en función del grado

de suciedad de las piezas. Los 80 m<sup>3</sup> del baño se renuevan unas cinco veces por hora, mediante las dos bombas que proporcionan 150 m<sup>3</sup>/h, manteniendo la concentración de desengrasante en un 4%. El calentamiento y mantenimiento de la temperatura se realizará con intercambiadores de tipo tubular dispuestos en los laterales largos de la cuba y son alimentados por la red de vapor que hay en la planta.

En el caso de que los baños de desengrase no sean regenerados en continuo, aumentará la concentración de aceite, disminuyendo progresivamente la eficacia del baño. El contenido del baño se manda a una unidad de ultrafiltración mediante una cuba de concentración. Aquí tiene la separación mediante membranas, obteniendo una fase rica en aceite y otra prácticamente sin aceite que retorna al baño de desengrase.

#### 7.2.4.- LAVADO DESPUÉS DEL DESENGRASE.

Tras el desengrase, los perfiles se someten a un lavado en contracorriente a una temperatura de 95°C durante 2 minutos para eliminar el posible arrastre de solución desengrasante a posteriores procesos. El calentamiento y mantenimiento del baño de lavado se realizará por soplado directo de vapor.

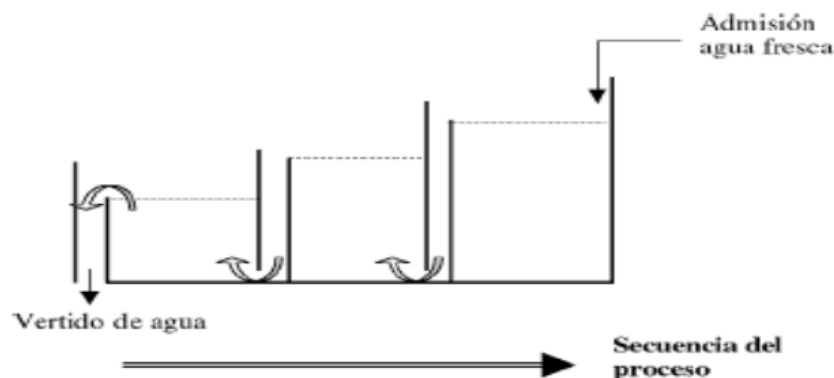


Figura 7.3 Lavado en contracorriente

#### 7.2.3.- DECAPADO CON ÁCIDO CLORHÍDRICO.

El material lavado ya puede decaparse. Se sumerge el material en un baño de soluciones ácidas. Principalmente se usan como ácidos de decapado el ácido clorhídrico (HCl) o en una menor proporción el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

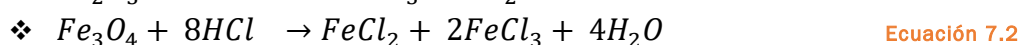
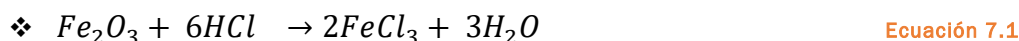
La finalidad de este proceso es la eliminación de la cascarilla sin que se llegue a atacar la superficie del acero, para ello es necesario la adición de inhibidores. Para un decapado con ácido clorhídrico, se usa como inhibidor el isopropanol. El decapado con ácido clorhídrico es más caro que con ácido sulfúrico. Sin embargo, el ácido clorhídrico proporciona una buena velocidad de decapado a

temperatura ambiente y confiere a los objetos un aspecto mucho más liso y brillante. La temperatura del proceso será de 20° C.

– Formulación típica baño de decapado

❖ Ácido clorhídrico (g/l)	160
❖ Inhibidores de decapado (g/l)	1,4

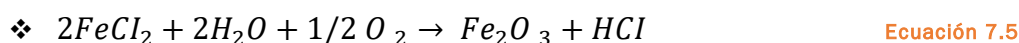
Al ir atacando la superficie de la pieza se elimina la cascarilla. Los óxidos que forman la cascarilla se disuelve en ácido clorhídrico siguiendo las reacciones:



La ecuación 7.4 corresponde al ataque del material base. La eficacia del baño de decapado va disminuyendo al aumentar la concentración de hierro. Para ello es necesario realizar adiciones periódicas de ácido para reponer las pérdidas producidas, tanto por el arrastre de las piezas, como por evaporación. Esta adición se compensa con adición de agua. Para ello se dispone de un depósito de ácido de 20 m<sup>3</sup> conectado con un tanque intermedio de regeneración. Las cuatro cubas de decapado estarán conectadas con el tanque intermedio de ácido.

Por medio de una instalación de regeneración se mantiene el nivel de hierro en unos 90 g/l. El baño puede mantenerse así hasta que se alcanza el límite de solubilidad de cloruro ferroso (FeCl<sub>2</sub>) en el ácido clorhídrico. Una vez alcanzado dicho límite no será posible seguir decapando. De la misma manera si el contenido de hierro de la solución de decapado supera los 140-150 g/l, el baño estará agotado y será necesario su renovación.

El ácido clorhídrico llega a los depósitos a través de un filtro de ácido. Se produce la vaporización del ácido por medio de los gases calientes provenientes del recuperador de lavado. El ácido concentrado pasa del depósito de concentrado a ser calentado por las toberas de la red de vapor. El líquido inyectado se vaporiza, y el cloruro de hierro producido en el baño se descompone en ácido clorhídrico y óxido de hierro.



El óxido de hierro se extrae mediante un dispositivo a baja presión y el ácido clorhídrico se bombea al tanque de ácido.



La velocidad del decapado será función directa de la concentración de ácido clorhídrico. Para una concentración de ácido de 200g/l el decapado es extremadamente rápido dándose un ataque del material base. Por debajo de 150g/l, el tiempo de decapado es más uniforme como se ve en la figura 7.4

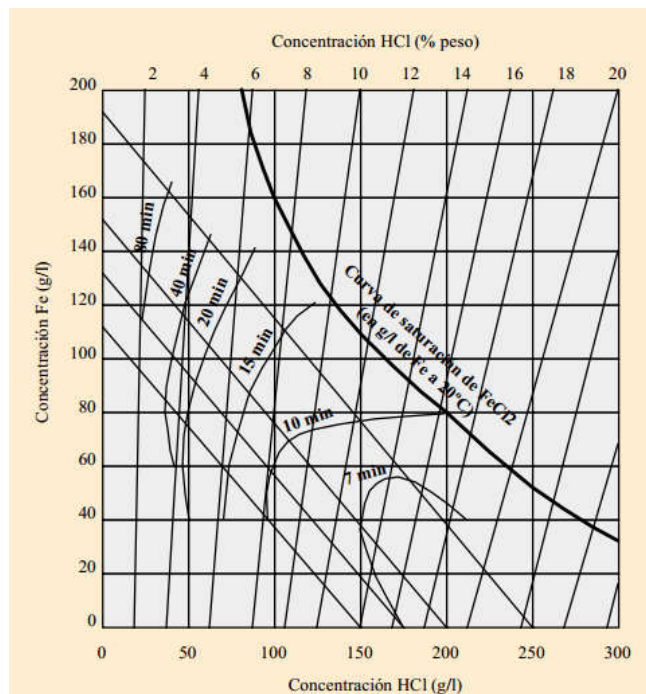


Figura 7.4 Curva de Kleingarn

#### 7.2.4.- LAVADO DESPUÉS DEL DECAPADO.

Los restos de ácido y hierro se eliminan de los perfiles mediante un lavado en contracorriente a una temperatura de 20°C y con una duración de 2 minutos. El baño ha de renovarse, para ello se añade periódicamente agua y el contenido de la cuba se manda a una instalación de neutralización.

Para neutralizar las aguas que contienen ácido clorhídrico, se añade agua lechada con cal en las cubas de neutralización. En una cuba se produce la reacción de reoxidación. Desde esa cuba se manda la solución a una cuba de decantación, donde el lodo espeso se trata de forma discontinua en un filtro prensa.

#### 7.2.5.- MORDENTADO.

El material ya lavado se somete a un tratamiento de sales a base de cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) y cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Con este último tratamiento se eliminan las últimas impurezas superficiales que puedan quedar en la

superficie metálica, y se activa la superficie del acero, facilitando así su reacción con el zinc fundido.

Se sumergen los perfiles en el baño de sales durante 1 minuto a una temperatura de 60°C, se crea una fina capa de sales cristalizadas que favorece la difusión intermetálicas del zinc con el acero cuando los perfiles son sumergidos en el crisol de zinc fundido. De esta forma se asegura un buen galvanizado, con capas de zinc perfectamente unidas y una superficie químicamente limpia debido a los efectos decapantes del cloruro de amonio.

– Formulación típica baño de Fluxado.

❖ Cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) (g/l)	300
❖ Cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) (g/l)	200

Los vapores que se generan en el tratamiento de sales con junto con los vapores del proceso de desengrase y los generados en el lavado en caliente se tratan en una torre de lavado y, se expulsan al exterior.

#### 7.2.6.- SECADO.

Tras el baño de mordentado el material a galvanizar pasa al foso de secado, donde se realiza una inspección para comprobar si la superficie está libre de defectos de tratamientos e impurezas.

Existen dos fosos de secado, cada uno dispone de dos cámaras que son calentadas con gases provenientes de la cuba de galvanización. La temperatura máxima será de 100°C y el tiempo de secado de 5 min por cada lote de perfiles. En el caso que los gases procedentes del horno de zinc fundido no sean suficientes, existen cuatro quemadores automáticos. Las corrientes de aire caliente son impulsadas por cinco ventiladores instalados en los fosos de secado.

### 7.3.- Inmersión en zinc.

Después del secado del material, los perfiles llegan al horno de galvanización. Los perfiles se sumergen en el baño de zinc fundido que se encuentra a una temperatura de 450°C

- Formulación baño de zinc fundido (Norma UNE EN ISO 1461)
 

❖ Zinc (%)	98.9
❖ Plomo (%)	1
❖ Hierro (%)	0,03
❖ Aluminio (%)	0.002
❖ Cadmio (%)	0,02
❖ Trazas de otros metales Sn, Cu, etc.	

La inmersión será lo más rápida posible sin que se produzca salpicaduras, con el fin de exponer al mismo tiempo toda la superficie de la pieza y darle un espesor uniforme. La velocidad de inmersión de los perfiles será de 42mm/seg.

Por el contrario, la velocidad de extracción debe ser muy lenta, de lo contrario se pueden producir gotas y grumos de recubrimientos. Una velocidad lenta permite que el zinc no aleado que sobre la superficie reaccione con el sustrato y se formen más compuestos de zinc-hierro.

Antes y después de extraer las piezas en el baño de zinc fundido, se ha de quitar mediante rasquetas la capa de óxidos y de cenizas de zinc que se forma en la superficie del baño con objeto de obtener un recubrimiento limpio. Las cenizas se llevan a un horno de recuperación de zinc que se reutilizara en el proceso. El tiempo de inmersión para perfiles IPN 300, en los que se quiere tener un espesor mínimo de 85µm, será de 7 minutos aproximadamente.

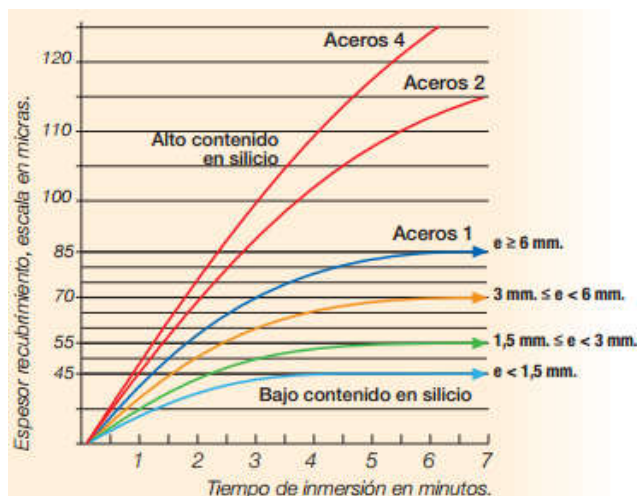


Figura 7.5 Recubrimiento obtenido en función del tiempo de inmersión.

Los humos generados durante la inmersión en el baño de zinc fundido son dirigidos por unas cortinas delgadas de acero galvanizado hacia una campana de captación colocada en la parte superior del horno.

## 7.4.- Enfriamiento.

Una vez extraídas las piezas del baño de galvanización, se procede a realizar un enfriamiento de las mismas.

Se realiza mediante la aplicación de aire controlado. Para ello se dispone de cuatro mesas de 10 m de longitud y 1,5 metros de altura. En el caso de perfiles que contengan muchas uniones soldadas, se controla en cada momento su enfriamiento y se proceder con cuidado, para evitar cualquier tipo de deformación a causa de la liberación de tensiones producidas por el gradiente térmico de sumergirlas en el baño de zinc a 450°C.

## 7.5.- Almacenamiento.

Una vez ha terminado el proceso de secado se procede al almacenamiento del lote de perfiles. El almacenamiento se realizará apilando los perfiles sobre tablones de madera seca con una distancia mínima del suelo de 30 cm, se usarán separadores de madera para permitir una correcta ventilación, y se inclinarán para permitir así un máximo drenaje, evitando así la aparición de corrosión blanca.

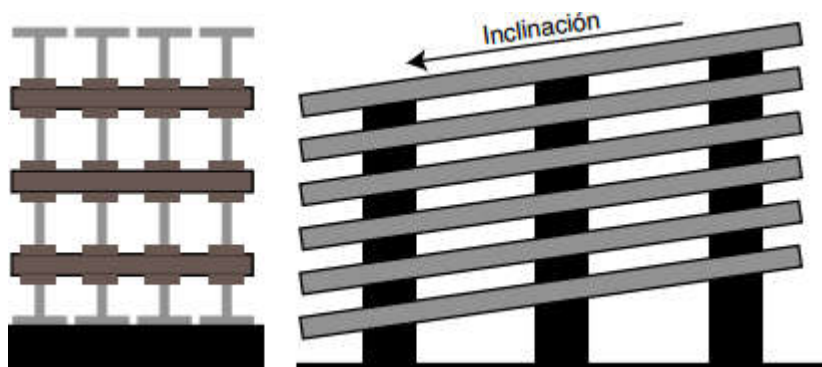
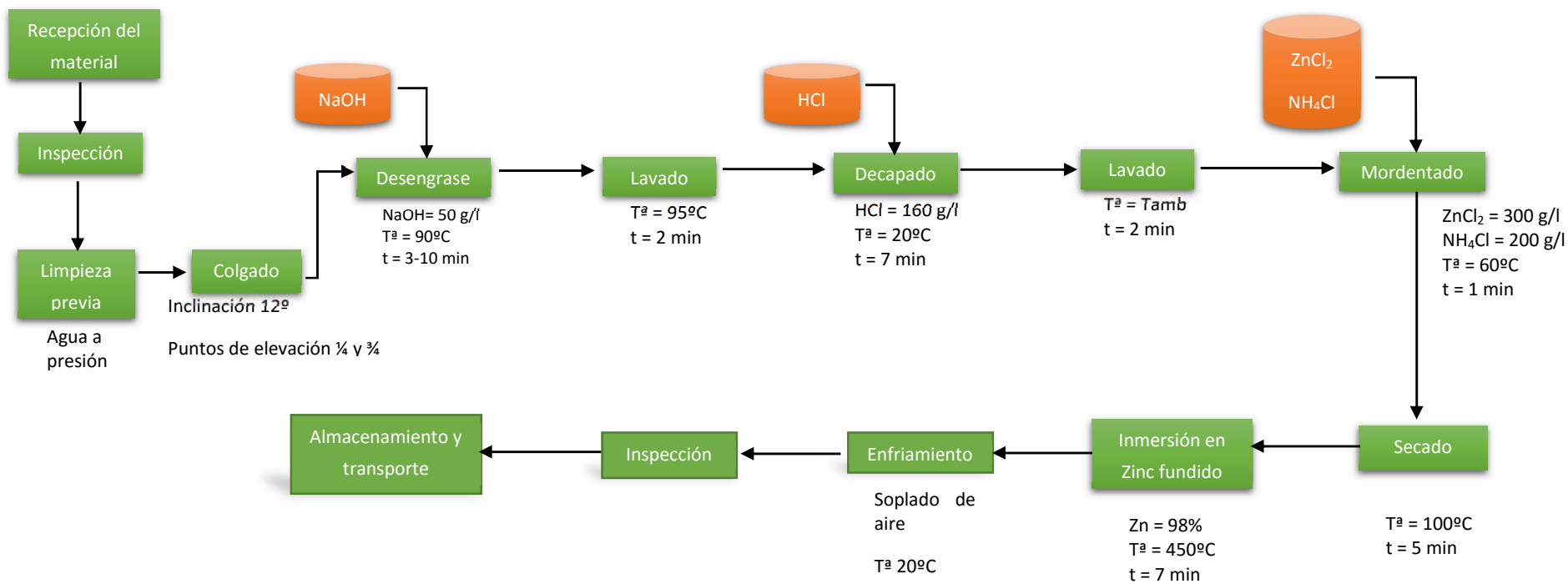


Figura 7.6 Almacenamiento perfiles recién galvanizados.

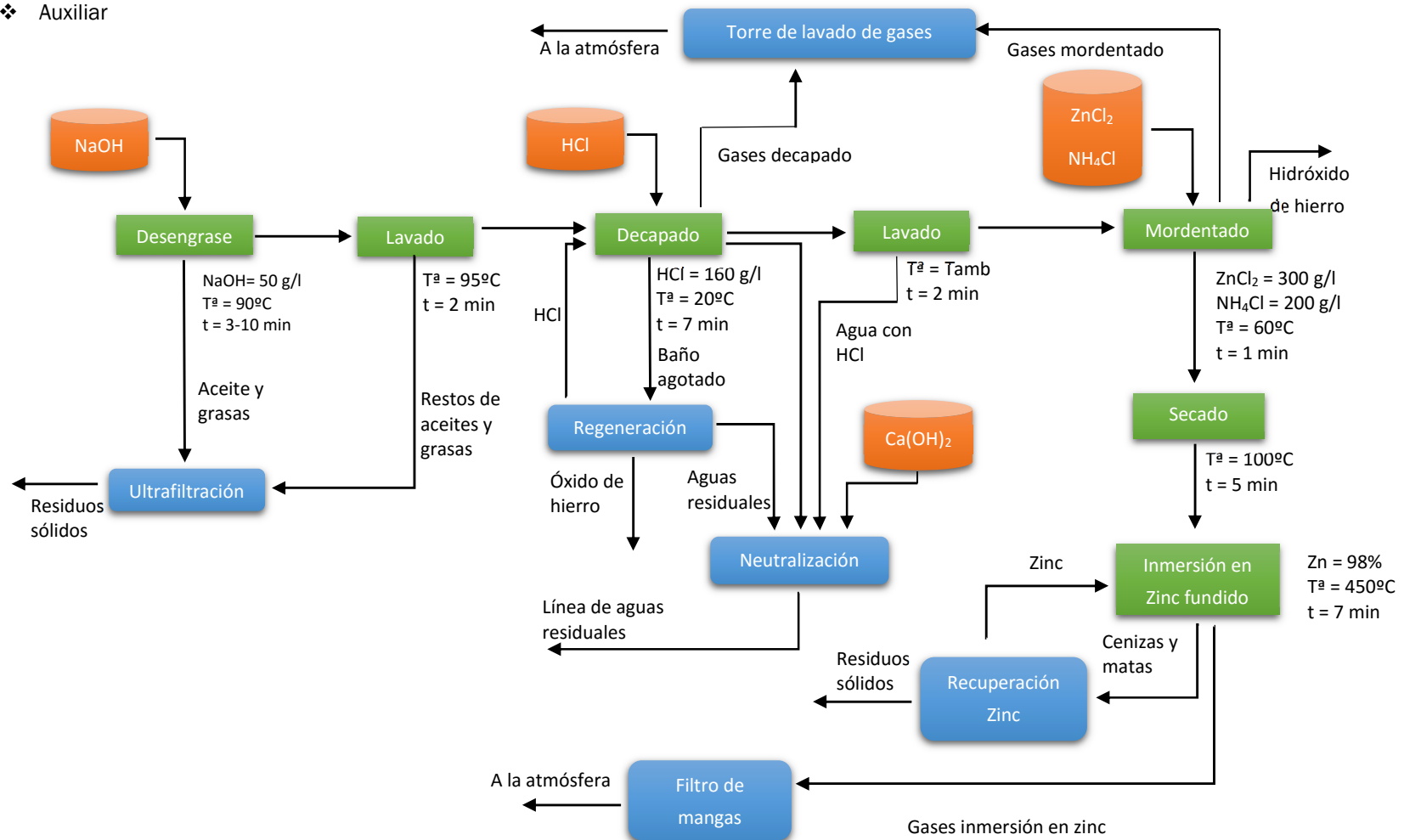
Para el transporte, los perfiles galvanizados se cubrirán con una lona encerada y se asegura de que está perfectamente inmovilizado de forma que no se deterioren los bordes.

## 7.6.- FLUJOGRAMA

❖ Principal



❖ Auxiliar



## 8.-TÉCNICA DE CONTROL DE CALIDAD.

Por último, se traslada los perfiles al almacén del material acabado, en donde se realiza una última inspección. Una persona se encarga del control de calidad final, asegurando el cumplimiento de la norma UNE EN ISO 1461 en base a:

- ❖ Aspecto del recubrimiento.
- ❖ Espesor del recubrimiento.
- ❖ Reacondicionamiento.
- ❖ Adherencia del recubrimiento.

### 8.1.- Aspecto superficial.

Se debe examinar visualmente las superficies de las piezas galvanizadas. Los recubrimientos de las superficies no deben presentar ampollas, rugosidades, puntos punzantes y zonas descubiertas. Tampoco se permitirá residuos de sales de flujo, así como de grumos y cenizas de zinc que interfieran en el uso prevista de la pieza.

Las manchas blancas producidas por la denominada corrosión blanca, no serán motivo de rechazo, siempre que el recubrimiento de zinc cumpla el espesor mínimo exigido por la norma.

### 8.2.- Espesor del recubrimiento.

La duración de la protección, que proporciona los recubrimientos galvanizados es proporcional a su espesor. Por ello se ha de controlar que cumpla con las exigencias mínimas según la norma UNE EN ISO 1461.

El método adecuado para determinar el espesor de los recubrimientos galvanizados en las plantas de galvanización corresponde al método magnético (UNE-EN ISO2178). En caso de disputa, como método alternativo se utilizará el método gravimétrico (UNE-EN-ISO 1460).

Se seleccionará áreas de referencia sobre cada pieza en relación con el tamaño de cada una de ellas, con una distancia de separación de los extremos de 100 mm. En cada área de referencia se tomarán como mínimo cinco valores, tomando la media aritmética como valor local de cada área de referencia. Ningún valor de espesor local debe ser inferior a lo que indica la figura 8.1.

<b>Espesor de la pieza</b>	<b>Valor local (mínimo) <math>\mu\text{m}</math> (micrómetros)</b>	<b>Valor medio (mínimo) <math>\mu\text{m}</math> (micrómetros)</b>
Acero $\geq 6$ mm	70	85
Acero $\geq 3$ mm hasta $< 6$ mm	55	70
Acero $\geq 1,5$ mm hasta $< 3$ mm	45	55
Acero $< 1,5$ mm	35	45
Piezas moldeadas $\geq 6$ mm	70	80
Piezas moldeadas $< 6$ mm	60	70

Figura 8.1 Espesores del recubrimiento Norma UNE EN ISO 1461.

El medidor de espesor magnético es una forma simple y no destructiva de medir el espesor del revestimiento. Existen tres tipos distintos de medidores de espesor magnéticos.

❖ Medidor Tinsley de tipo lapicero.

El medidor Tinsley de tipo lapicero se basa en la simple atracción magnética de una aguja imantada hacia el acero base. La medición se efectúa poniendo en contacto perpendicularmente la punta magnética con el recubrimiento. Después se retira lentamente y la punta queda en contacto hasta que la atracción magnética se contrarresta por la tensión de un muelle.

❖ Medidor de tipo banana.

Tiene el mismo principio que el medidor de lapicero Tinsley, pero lleva un compensador magnético que permite la medición en cualquier posición sin interferencia de la gravedad y un dispositivo de calibrado que permite obtener resultados más exactos.

❖ Medidor de espesor electrónico o digital.

Son los medidores más precisos y los más fáciles de usar. Permite la medición en superficies planas, curvas o rugosas.



## 8.3.- Reacondicionamiento.

En una pieza galvanizada, el área total de las superficies que hayan podido quedar sin galvanizar, y que por ello son objeto de reacondicionamiento posterior, no debe superar al 0.5% de la superficie total. Además, aquellas zonas individuales que hayan quedado descubiertas y superen los 10 cm<sup>2</sup>, no se pueden reacondicionar. Los principales métodos de reacondicionamiento son:

- ❖ Proyección térmica de zinc.  
Prevía limpieza por chorreo hasta el grado Sa 2 ½
- ❖ Pintura rica en zinc de alta calidad.  
El contenido en zinc metálico en la película de pintura seca debe ser lo más elevado posible. Los sistemas de pintura aceptados son:
  1. Resina epoxi de dos componentes.
  2. Poliuretano de un solo componente de secado al aire.
  3. Etil silicato-polvo de zinc de un componente de secado al aire.
- ❖ Aplicación de alecciones de zinc de bajo punto de fusión.  
Las aleaciones más frecuentes son las de zinc-cadmio y zinc-estaño.

## 8.4.- Adherencia del recubrimiento.

Los recubrimientos galvanizados presentan unas propiedades mecánicas interesantes como la resistencia a la abrasión e impactos y una adherencia más elevada que la mayoría de las pinturas. No será necesario normalmente realizar ensayo de adherencia ya que los elementos galvanizados soportan normalmente una manipulación congruente sin que existe desprendimiento del recubrimiento que está formado por diversas capas de aleación diferentes.



## 9.- PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LA GALVANIZACIÓN EN CALIENTE

Se entiende por riesgo laboral “la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo”, o también “la combinación de la frecuencia o probabilidad que puedan derivarse de la materialización de un peligro”. (Ibermutuamur).

### 9.1.- Principales riesgos.

Se exponen algunos riesgos de particular interés en relación con los trabajos que se realizan en las instalaciones de galvanización en caliente.

- ❖ Carga y descarga del material.
  - Caída del conductor al subir/bajar de la carretilla.
  - Caídas de personal a distinto nivel.
  - Vuelco de la carretilla.
  - Caída de objetos transportados.
- ❖ Almacén del material en negro.
  - Caída de cargas o elementos de las cargas sobre zonas de trabajo o pasillos.
  - Choques entre vehículos o atropellos a peatones.
- ❖ Colgado y descolgado del material.
  - Daños al descender y apoyar las cargas.
  - Daños por desprendimiento o por deslizamiento de cargas originados por amarre deficiente.
  - Pellizcos al montar o desmontar los útiles o aparejos necesarios para la maniobra de manipulación.
  - Golpes por roturas de cables o cadenas de suspensión.
  - Contacto con piezas o elementos cortantes y/o punzantes.

❖ Zona de tratamiento previo.

- Riesgo de quemadura por salpicaduras de sustancias químicas.
- Intoxicación y/o asfixia producidas por vapores.
- Atrapamientos por o entre objetos.

❖ Secado.

- Contacto con piezas calientes

❖ Inmersión en zinc.

- Caídas y quemaduras en el crisol de zinc.
- Contacto con proyecciones de zinc.
- Inhalación de humos de óxido de zinc que causa la llamada "fiebre de los fundidores, o fiebre de los metales.

## 9.2.- Equipos de protección individual.

Según la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, es obligatorio disponer de prendas de protección. El verdadero problema es convencer a los trabajadores para que utilicen estas prendas, por ello, es importante que sean confortables y, en lo posible, que tenga un aspecto agradable. Cuando se trabaje con un equipo de galvanizado por inmersión en caliente, se debe llevar puesto el siguiente equipo:

❖ Protección de la cabeza.

El casco de seguridad para la protección de la cabeza del trabajador protegerá frente a la caída de objetos, choques, aplastamiento o, proyección de metal fundido.

❖ Protección facial.

Constan principalmente de: gafas, que protegen los ojos frente a proyecciones o radiaciones, pantallas, que protegen la cara y otras zonas de la cabeza, evitando la penetración de productos químicos, partículas sólidas o líquidas.

❖ Protección de las vías respiratorias.

Los protectores de las vías respiratorias se requieren para proteger frente a la acción de sustancias peligrosas contenidas en el aire respirable, se trata de contaminantes atmosféricos en forma de partículas, gases y vapores.

❖ Protección auditiva.

Los protectores auditivos son equipos de protección individual que, debido a sus propiedades para la atenuación de sonido, reducen los efectos del ruido en la audición, para evitar así un daño en el oído. Se utilizarán tapones, que serán colocados en el canal auditivo bloqueado la entrada de ruido.

❖ Ropa de protección

Monos y guantes resistentes tanto a ácidos como a salpicaduras del metal fundido según la norma UNE-EN ISO 11612:2010

❖ Calzado de seguridad.

El calzado de seguridad constituye el elemento de protección de las extremidades inferiores de uso más generalizado, existiendo un tipo de calzado adecuado para cada tipo de riesgo.

Los decapadores van provistos con botas de goma hasta las rodillas mientras que el resto de personal ira con botas de seguridad.



## 10.- CONCLUSIONES.

La galvanización en caliente es un proceso industrial sencillo y perfectamente controlado, que permite obtener recubrimientos de zinc de calidad y espesor regulados sobre prácticamente cualquier semielaborado o pieza de acero en negro.

El recubrimiento que se obtiene está unido metalúrgicamente al acero base a través de una serie de capas de aleación hierro-zinc, que confieren al acero la protección más eficaz que se conoce contra la corrosión electroquímica.

De los numerosos ejemplos que se pueden contemplar del empleo del acero galvanizado en distintos sectores tales como la industria, la construcción, las infraestructuras y los transportes, etc., se desprende la importancia de las cualidades del material utilizado en tan variadas aplicaciones.

El acero por sí mismo, como material versátil, conforma elementos muy diversos aportando sus características de resistencia para las construcciones con él realizadas.

El tratamiento de galvanización en caliente aplicado a estos variados elementos puede dotarlos, como ya se ha destacado, de una durabilidad muy prolongada sin necesidad de mantenimiento, que será función directa de los espesores de los recubrimientos obtenidos y de la velocidad de corrosión de estos recubrimientos en los distintos ambientes.





## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

Alfonso José Vázquez Vaamonde, J. J. (2001). *Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos*. CSIC - CSIC Pres.

Callister, W. D. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Reverté.

Pancorbo, F. (2011). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. S.A. MARCOMBO.

Peter Maaß, P. P. (2011). *Handbook of Hot-dip Galvanization*. WILEY-VCH.

Ibermutuamur. (s.f.). *Manual de prevención de riesgos laborales I*. Madrid.

Urbán Brotóns, P. (2009). *Construcción de Estructuras Metálicas*. Alicante: Club Universitarios.

### Normativa

UNE-EN ISO 14713-1. (2011). *Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc*.

### Publicaciones Técnicas

Asociación Técnica Española de Galvanización, A. (s.f.). *Proceso, propiedades y aplicaciones. La galvanización en caliente*, 1-2.

Associaton, A. G. (2015). *American Galvanizers Associaton*. Obtenido de [https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Soldadura\\_galvanizado\\_en\\_caliente.pdf](https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Soldadura_galvanizado_en_caliente.pdf)

Associaton, A. G. (2015). *American Galvanizers Associaton*. Obtenido de [http://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Inspection\\_Guide\\_Spanish.pdf](http://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Inspection_Guide_Spanish.pdf)

Galesa. (21 de Octubre de 2015). <https://www.galesa.com>. Obtenido de <https://www.galesa.com/v14/descarga-de-documentos.html?download=2:dossier-informativo-sobre-el-galvanizado-en-caliente-por-inmersion-en-zinc-fundido>

Zinc, A. L. (s.f.). *Latiza*. Obtenido de [http://latiza.com/archivos\\_publicar/seminarioProcesosQuimicosPlanta.pdf](http://latiza.com/archivos_publicar/seminarioProcesosQuimicosPlanta.pdf)

Zinc, A. L. (s.f.). *Latiza*. Obtenido de

[http://latiza.com/archivos\\_publicar/seminarioDise%23U00c3%23U00b1oyoperacionPlantas.pdf](http://latiza.com/archivos_publicar/seminarioDise%23U00c3%23U00b1oyoperacionPlantas.pdf)

## Páginas Web

American Galvanizers Association [www.galvanizeit.org/](http://www.galvanizeit.org/)

ATEG - ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA DE GALVANIZACIÓN [www.ateg.es/](http://www.ateg.es/)

LATIZA: Asociación Latinoamericana de Zinc [www.latiza.com/](http://www.latiza.com/)

EUROPEAN GENERAL GALVANIZERS ASSOCIATION: EGGA [www.egga.com/](http://www.egga.com/)

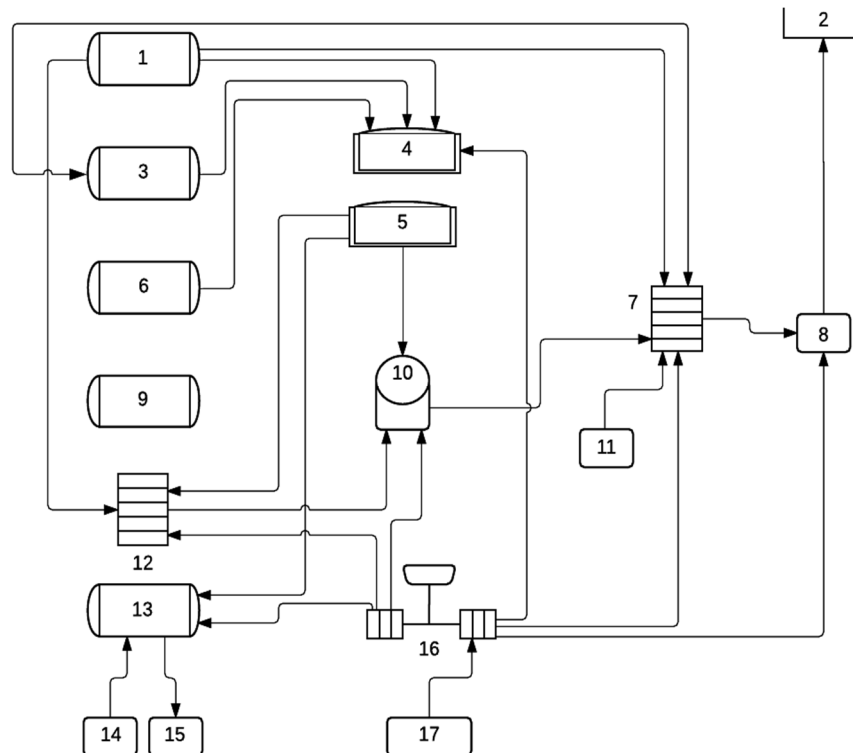
INDUSTRIAL GOÑABE [www.gonabe.com/](http://www.gonabe.com/)

También se han utilizado otras fuentes, tanto informáticas como soporte físico de la UVA

## ANEXOS

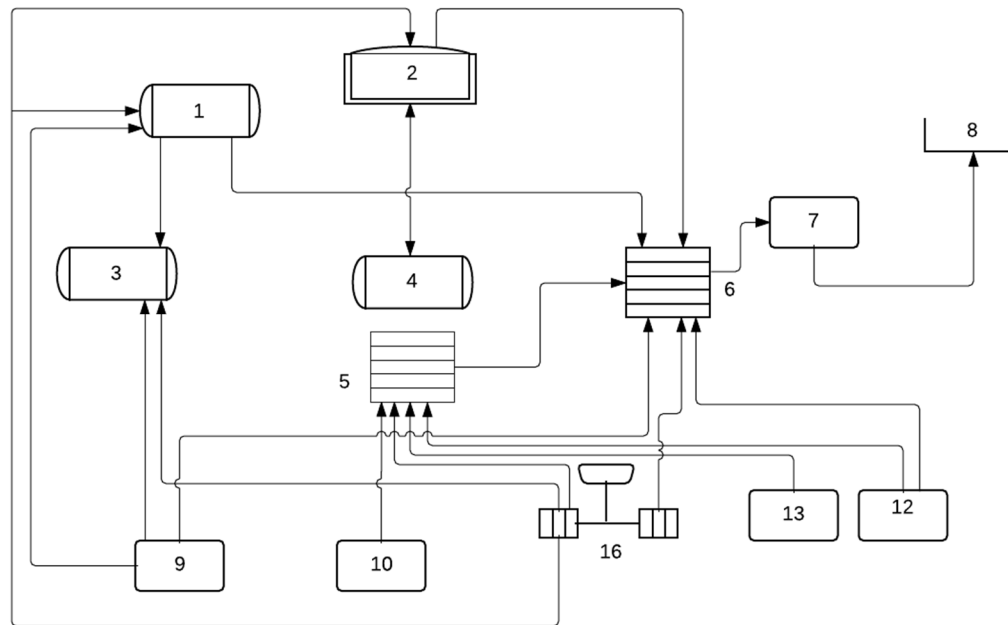
### 1.-Esquemas de circulación

- Zona de desengrase y lavado



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Agua usada.                   | 10. Bomba de aguas residuales.         |
| 2. Línea de aguas residuales.    | 11. Cal.                               |
| 3. Agua de la red.               | 12. Filtración y preparación.          |
| 4. Desengrase.                   | 13. Condensados.                       |
| 5. Lavado en caliente.           | 14. Red de vapor.                      |
| 6. Desengrasante.                | 15. Red de condensadores.              |
| 7. Neutralización.               | 16. Transformadores.                   |
| 8. Elevador de aguas residuales. | 17. Energía eléctrica de alta tensión. |
| 9. Bomba de aguas residuales.    |  |

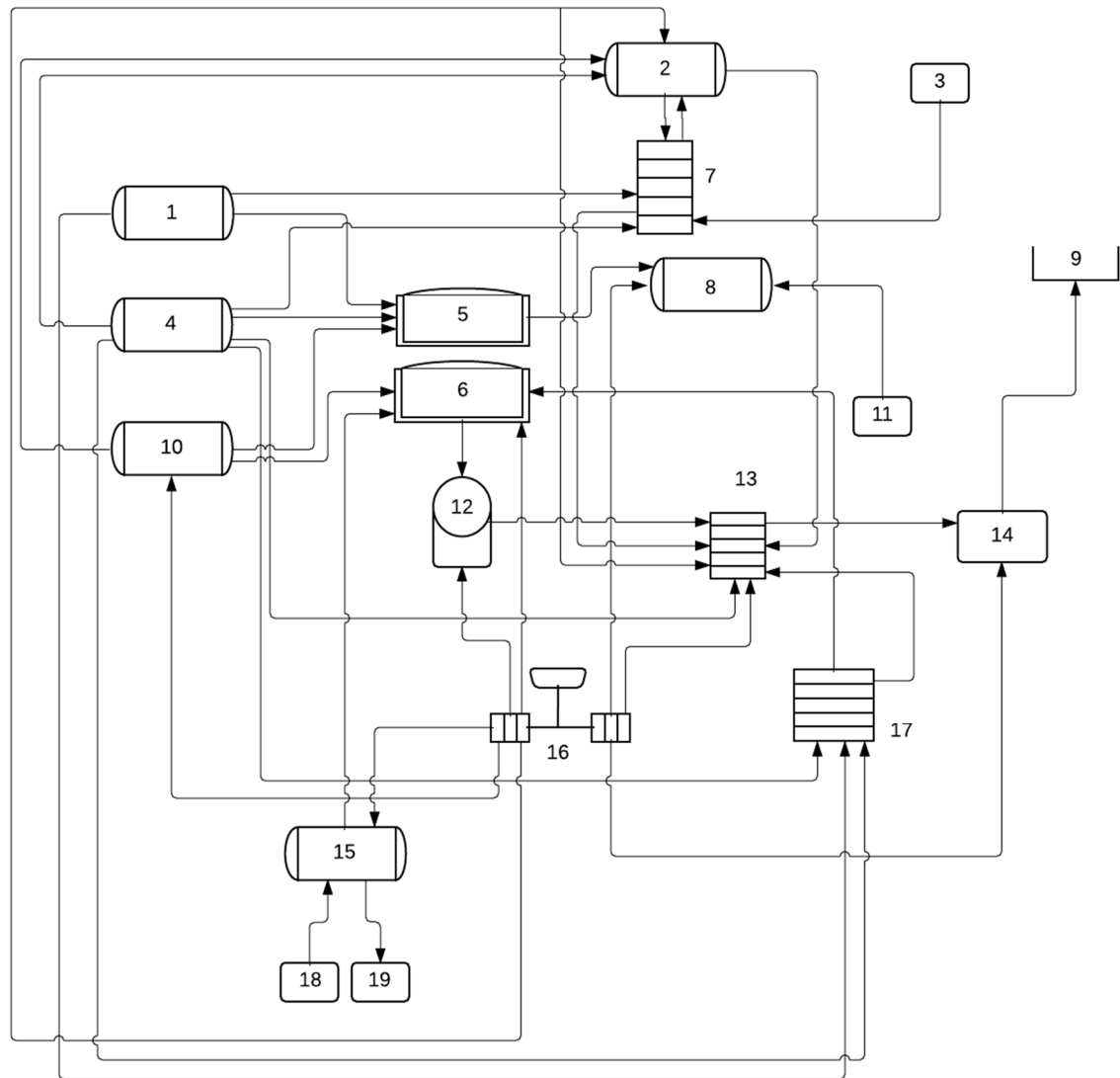
– Instalación auxiliar de regeneración



1. Depósito de ácido
2. Decapado
3. Depósito int. ácido.
4. Regeneración
5. Depósito de óxido
6. Neutralización
7. Elevador aguas residuales.

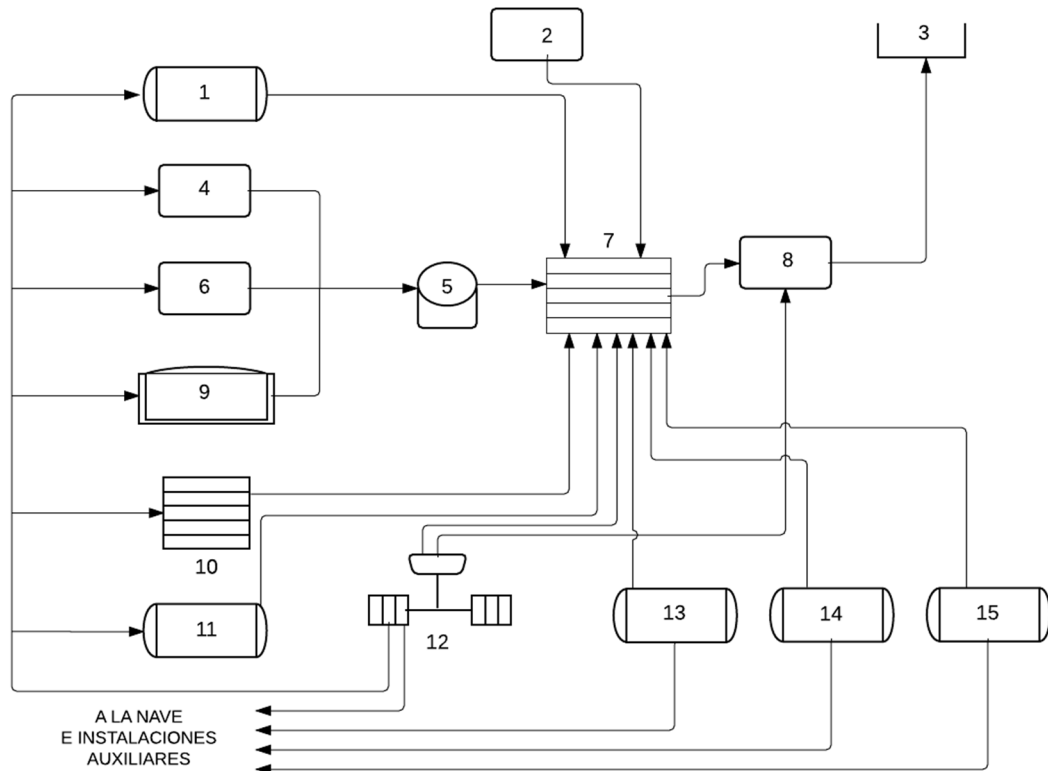
8. Línea de aguas residuales
9. Agua de la red.
10. Red de aguas residuales
11. Estación de transformación
12. Aire a presión
13. Combustible

– Zona de decapado.



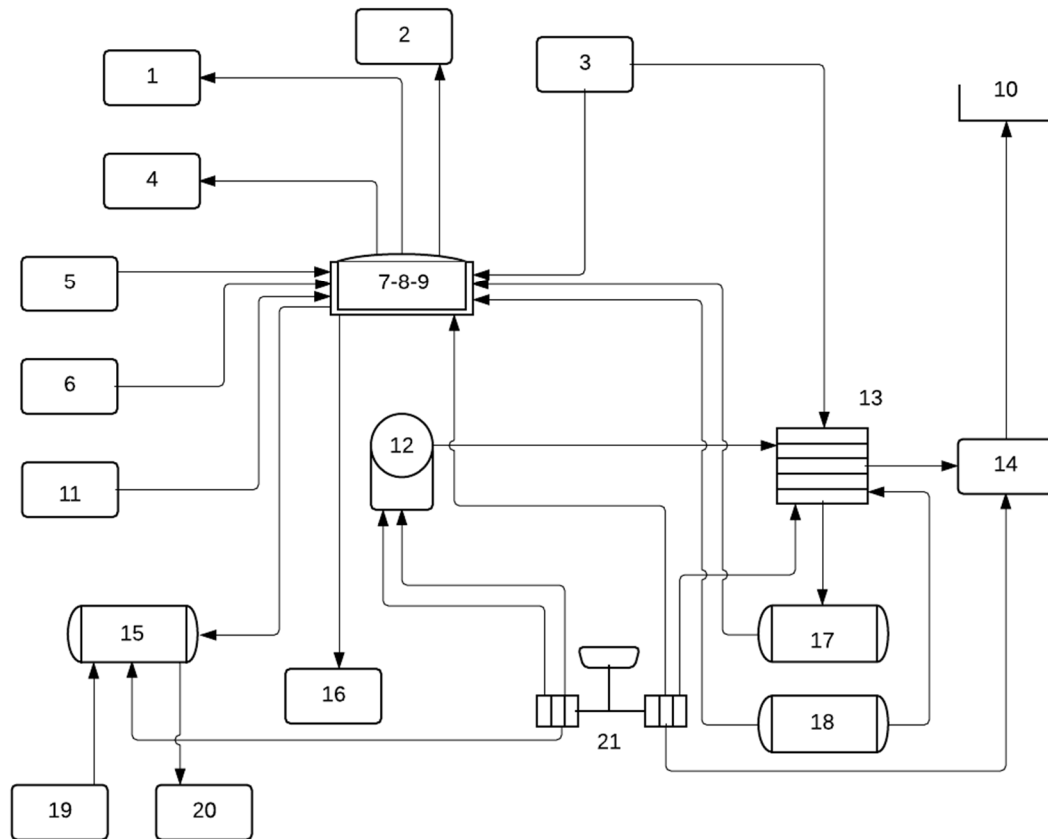
- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Agua usada                   | 11. Aire a presión               |
| 2. Deposito intermedio de ácido | 12. Estación de bombeo           |
| 3. Red de combustible           | 13. Neutralización               |
| 4. Agua de la red               | 14. Elevador de aguas residuales |
| 5. Decapado                     | 15. Depósito de condensados      |
| 6. Lavado                       | 16. Transformadores              |
| 7. Regeneración                 | 17. Filtración y preparación     |
| 8. Depósito de óxido.           | 18. Red de vapor                 |
| 9. Línea de aguas residuales    | 19. Red de condensado.           |
| 10. Depósito de ácido.          |                                  |

– Instalaciones de neutralización.



- |                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Regeneración y depósito.         | 9. Baño de flujo.                |
| 2. Cal.                             | 10. Filtración y Preparación.    |
| 3. Línea de aguas residuales        | 11. Depósito de ácido.           |
| 4. Lavado en caliente y desengrase. | 12. Estación de transformadores. |
| 5. Estación de bombeo.              | 13. Agua de la red.              |
| 6. Decapado y lavado.               | 14. Aguas residuales.            |
| 7. Neutralización.                  | 15. Aire a presión.              |
| 8. Elevador de aguas residuales.    |                                  |

– Zona de galvanización.



1. Cenizas de Zinc.
2. Chimenea
3. Aire a presión
4. Matas
5. Depósito de Zinc.
6. Depósito de fluxado
7. Fluxado
8. Secado
9. Galvanización
10. Línea de aguas residuales.
11. Combustible.

1. Estación de bombeo
2. Neutralización.
3. Elevador aguas residuales.
4. Deposito condensados.
5. Extractores del baño de Zn.
6. Agua usada.
7. Agua de la red.
8. Red de vapor.
9. Red de condensados.
10. Transformadores.





## 2.-Peligrosidad y toxicología de sustancias químicas.

### ❖ Hidróxido sódico.

**Fórmula:** NaOH

**Peso molecular:** 40.01 g/mol

**Generalidades:**

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 %. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

**Manejo:**

Para el manejo es necesario de gafas de seguridad, bata y guantes de neopreno.

**Riesgos:**

Riesgos de fuego y explosión: Este compuesto no es inflamable, sin embargo, puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, se generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales.

Riesgos a la salud:

- Inhalación: La inhalación de polvo o neblina causa irritación y daño del tracto respiratorio. En el caso de exposiciones elevadas causa ulceración nasal.
- Contacto con ojos: El NaOH es extremadamente corrosivo a los ojos por lo que las salpicaduras son muy peligrosas, pueden provocar irritación en la córnea.
- Contacto con la piel: Tanto el NaOH sólido, como en disoluciones concentradas es altamente corrosivo con la piel.
- Ingestión: Causa quemaduras severas en la boca, si se traga el daño es, además, en el esófago produciendo el vómito y el colapso.

**Almacenamiento:**

El hidróxido sódico debe ser almacenado en un lugar seco, protegido de la humedad, agua, daño físico y alejado de ácidos, metales, disolventes clorados, explosivos, peróxidos orgánicos y materiales que pueden arder fácilmente.

❖ Ácido Clorhídrico.

**Fórmula:** HCl.

**Peso molecular:** 36,46g/mol

**Generalidades:**

Es una disolución acuosa de cloruro de hidrogeno. Es un líquido de color amarillo o incoloro de olor penetrante. Sus vapores son irritantes a los ojos y membranas acuosas. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Es corrosivo de metales y tejidos.

**Manejo:**

Para el manejo es necesario de gafas de seguridad y guantes de neopreno. Si se manejan cantidades grandes de este producto, es necesario utilizar un equipo de respiración autónoma sin partes de aluminio.

**Riesgos:**

Riesgos de fuego y explosión: No es inflamable. Se produce un gas inflamable cuando se pone en contacto con metales. Se generan vapores tóxicos e irritantes de cloruro de hidrogeno cuando se calienta.

Riesgos a la salud:

- Inhalación: En exposiciones agudas, los efectos se limitan al tracto respiratorio superior. Causa dificultad para respirar, tos e inflamación y ulceración de nariz, tráquea y laringe.
- Contacto con ojos: Este acido es irritante severo con los ojos y su contacto con ellos puede causar quemaduras, reducir visión o incluso la pérdida total de esta.
- Contacto con la piel: En forma de vapor o disolución, causa quemaduras severas, dermatitis y fotosensibilización
- Ingestión: Produce corrosión de las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago. Provoca nauseas, vomito, sed intensa y diarrea.

**Almacenamiento:**

Se debe almacenar en lugares secos, bien ventilados, alejados de materiales oxidantes y protegidos de daños físicos.

❖ Cloruro de amonio.

**Fórmula:**  $\text{NH}_4\text{Cl}$

**Peso molecular:** 53.49 g/mol

**Generalidades:**

Habitualmente se encuentra en forma de polvo blanco o incoloro. Es soluble en agua, disociándose parcialmente, formando un ácido débil. Reacciona violentamente en contacto con nitrato de amonio y clorato de potasio.

**Manejo:**

Para el manejo es necesario de gafas de seguridad, guantes y mono para evitar el contacto con la piel.

**Riesgos:**

Riesgos de fuego y explosión: No es una sustancia inflamable. A temperaturas de incendio, el cloruro de amonio comienza a corroer los metales y puede disociarse en amoniaco y cloruro de hidrogeno, produciendo gases o humos tóxicos e irritantes.

Riesgos a la salud:

- Inhalación: Causa irritación de nariz y garganta si es inhalado en forma de humo o polvo. También puede producir vómitos y dolor de garganta.
- Contacto con ojos: Causa conjuntivitis química grave.
- Contacto con la piel: Causa irritación de la piel.
- Ingestión: Causa náuseas, dolor de garganta y vomito.

**Almacenamiento:**

Se debe almacenar en lugares secos, bien ventilados y alejados de nitrato de amonio y clorato de potasio.

❖ Cloruro de zinc.

**Fórmula:**  $\text{ZnCl}_2$

**Peso molecular:** 136,3 g/mol

**Generalidades:**

Compuesto químico del que se conocen nueve formas cristalinas diferentes, incoloros o blancas. Es muy soluble en agua, higroscópico e deliquescente. Se debe proteger de las fuentes de humedad.

**Manejo:**

Usar ropa protectora impermeable, incluyendo botas, guantes de laboratorio, delantal o mono para evitar el contacto con la piel. Utilizar también gafas protectoras contra productos químicos y/o careta completa.

**Riesgos:**

Riesgos de fuego y explosión: No es considerado peligro de explosión.

Riesgos a la salud:

- Inhalación: Extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y tracto respiratorio. Se puede producir sensación de quemazón, tos, laringitis, dolor de cabeza.
- Contacto con ojos: Puede producir enrojecimiento, dolor y visión borrosa.
- Contacto con la piel: Puede causar irritación severa, quemaduras y ulceraciones de la piel.
- Ingestión: Puede producir irritación o corrosión en el tracto gastrointestinal con dolor abdominal, náuseas y vómitos.

**Almacenamiento:**

Mantener en un recipiente bien cerrado y almacenado en frío a condiciones cálidas, de 2 a 40°C. Proteger contra el daño físico.